

**STUDI NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL  
DISTRIBUSI TEGANGAN-REGANGAN BAJA**

**SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**AHMAD AGUS SALIM  
NIM. 145060100111010**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**STUDI NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL**  
**DISTRIBUSI TEGANGAN-REGANGAN BAJA**

**SKRIPSI**  
**TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AHMAD AGUS SALIM**  
**NIM. 145060100111010**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 2 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST, MT, M.Sc**  
NIP. 201102 840705 1 001

**Dr. Eng. Lilya Susanti, ST, MT**  
NIP. 201102 850221 2 001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1

**Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.)**  
NIP. 19810220 200604 1 002

## **HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI**

JUDUL SKRIPSI:

STUDI NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI TEGANGAN-REGANGAN  
BAJA

Nama Mahasiswa : Ahmad Agus Salim  
NIM : 145060100111010  
Program Studi : Teknik Sipil  
Minat : Struktur

### **TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen Penguji I : Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT.  
Dosen Penguji II : Dr. Eng. Ming Narto W., ST., MT., M.Sc.  
Dosen Penguji III : Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.  
  
Tanggal Ujian : 21 Desember 2017  
SK Penguji : 1711/UN10.F07/SK/2017

## **PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 5 Januari 2018

Mahasiswa,

Ahmad Agus Salim

NIM. 145060100111010

## **RIWAYAT HIDUP**

Ahmad Agus Salim lahir di Kulon Progo, 17 Agustus 1995. Anak dari Bapak Akhmad Basiran, S.Pd dan Ibu Dra. Umabiinatun. Lulus SD di MI Ma'arif Karangwuni tahun 2007. Setelah itu lulus SMP di SMPN 1 Wates tahun 2010. Selanjutnya lulus SMA di SMAN 1 Wates tahun 2013. Kemudian melanjutkan studi di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan lulus tahun 2018.

Selama menjalani studi di Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang penulis pernah mengikuti kompetisi IDEERS 2016 di Taiwan dan Kompetisi Jembatan Indonesia 2017 serta menjadi Koordinator Asisten Praktikum di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi.

Malang, 5 Januari 2018

Penulis

*Kebahagiaan Awal Persembahan untuk  
Bapak, Ibu, beserta Kakak yang Sangat Saya Cintai*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala anugerah-Nya dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**STUDI NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI TEGANGAN-REGANGAN BAJA**” dengan baik dan lancar. Skripsi ini merupakan persyaratan terakhir akademis yang telah ditetapkan untuk menyelesaikan tahap sarjana di **Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**.

Tentunya saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar karena bantuan dari banyak pihak. Karena itu, saya ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. **Ir. Sugeng P. Budio, MS** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. **Ir. Siti Nurlina, MT** selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. **Dr. Eng Indradi Wijatmiko, ST, M.Eng (Prac.)** selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
4. **Dr. Ir. Wisnumurti, MT** selaku KKDK Struktur.
5. **Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST, MT, M.Sc** selaku Dosen Pembimbing 1 Skripsi.
6. **Dr. Eng. Lilya Susanti, ST, MT** selaku Dosen Pembimbing 2 Skripsi.
7. **Segenap Dosen dan Karyawan** di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. **Keluarga Saya** yang selalu memberi semangat dan selalu mendukung.
9. **Teman-teman** di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
10. Dan semua pihak yang telah membantu kelancaran penulisan skripsi ini, yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Saya menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, 5 Januari 2018

Ahmad Agus Salim

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	i
<b>DAFTAR ISI .....</b>	ii
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	v
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	ix
<b>RINGKASAN.....</b>	x
<b>ABSTRACT .....</b>	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Tujuan Penelitian .....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II DASAR TEORI .....</b>	5
2.1 Pengujian Tarik .....	5
2.2 Spesimen Uji Tarik .....	5
2.3 Deformasi .....	5
2.4 Tegangan ( <i>Stress</i> ) .....	6
2.5 Regangan ( <i>Strain</i> ) .....	7
2.6 Hubungan Tegangan dan Regangan .....	9
2.7 Elastisitas dan Plastisitas .....	12
2.7.1 Elastisitas .....	12
2.7.2 Plastisitas.....	13
2.8 Kurva Tegangan-Regangan .....	13
2.9 Konversi <i>Engineering Strain</i> ke <i>True Strain</i> dan <i>Engineering Stress</i> ke <i>True Stress</i> .....	15
2.10 Dekomposisi <i>Plastic Strain</i> .....	17
2.11 Metode Numerik .....	18
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	21



3.1 <i>Software</i> Analisis .....	21
3.2 Metode Penelitian .....	21
3.3 Pengambilan Data Eksperimental .....	23
3.3.1 <i>Universal Testing Machine</i> .....	23
3.3.2 Prosedur Pelaksanaan Uji Tarik Baja .....	23
3.4 Studi Numerik dengan <i>Software</i> ABAQUS CAE.....	24
3.4.1 Pengertian <i>Software</i> Abaqus .....	24
3.4.1.1 <i>Preprocessing</i> (ABAQUS CAE) .....	25
3.4.1.2 Simulasi (ABAQUS <i>Standard</i> dan ABAQUS <i>Explicit</i> ).....	27
3.4.1.3 <i>Post Processing</i> (ABAQUS CAE) .....	27
3.4.2 Pemodelan dengan <i>Software</i> ABAQUS CAE.....	28
3.4.3 Hasil Analisis dari <i>Software</i> ABAQUS CAE.....	36
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b> .....	37
4.1 Dimensi Spesimen Uji.....	37
4.2 Data Hasil Eksperimental.....	38
4.2.1 Elastisitas Baja .....	38
4.2.2 Kuat Leleh dan Kuat Baja .....	39
4.3 Hubungan Tegangan-Regangan Tipikal.....	41
4.4 Analisis <i>Software</i> ABAQUS .....	43
4.4.1 Pengaruh Ukuran <i>Meshing</i> .....	43
4.4.2 Pengaruh <i>Increment Size</i> .....	45
4.4.3 Pengaruh Penggunaan <i>Necking</i> pada Spesimen Uji .....	45
4.4.4 Perbedaan Tegangan-Regangan Bagian Tengah dan Tepi Benda Uji.....	47
4.5 Hasil Analisis dengan <i>Software</i> ABAQUS .....	48
4.5.1 Analisis Diagram Tegangan-Regangan.....	51
4.5.1.1 Spesimen Uji Plat .....	51
4.5.1.2 Spesimen Uji Profil Hollow.....	53
4.5.1.3 Spesimen Uji Profil WF.....	55
4.5.1.4 Spesimen Uji Profil Siku.....	57
4.5.1.5 Spesimen Uji Profil Canal.....	59
4.5.2 Analisis Distribusi Tegangan-Regangan.....	61
<b>BAB V KESIMPULAN</b> .....	65

5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>69</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>71</b>

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Dimensi Spesimen Uji .....	37
Tabel 4.2	Nilai Elastisitas Baja.....	38
Tabel 4.3	Kuat Leleh dan Kuat Tarik Baja.....	39
Tabel 4.4	Mutu Baja.....	40
Tabel 4.5	<i>True Stress dan True Strain</i> .....	42
Tabel 4.6	<i>Meshing dan Increment Size</i> .....	49
Tabel 4.7	<i>Displacement Control</i> .....	50

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Tegangan Normal ( <i>Normal Stress</i> ) .....	6
Gambar 2.2	Regangan ( <i>Strain</i> ).....	7
Gambar 2.3	Diagram Tegangan-Regangan.....	10
Gambar 2.4	Hubungan Tegangan-Regangan Tipikal	11
Gambar 2.5	Garis Modulus.....	12
Gambar 2.6	Kurva <i>True stress</i> dan <i>True strain</i> .....	14
Gambar 2.7	Jenis-jenis Kurva <i>Stress – Strain</i> .....	15
Gambar 2.8	Karakteristik hubungan Tegangan ( <i>strees</i> ) – Regangan ( <i>strain</i> )....	16
Gambar 2.9	Dekomposisi <i>Total Strain</i> ke Komponen <i>Plastic</i> dan <i>Elastic</i> .....	17
Gambar 2.10	Langkah Analisis dengan Metode Elemen Hingga ( <i>finite element method</i> ) .....	18
Gambar 2.11	Elemen Satu Dimensi.....	19
Gambar 2.12	Elemen Dua Dimensi.....	19
Gambar 2.13	Elemen Tiga Dimensi.....	19
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	22
Gambar 3.2	<i>Universal Testing Machine</i> .....	23
Gambar 3.3	Diagram Aliran Proses <i>Running</i> .....	25
Gambar 3.4	Tahapan kerja <i>Preprocessor</i> , <i>Solver</i> (simulasi), dan <i>Postprocessor</i> .....	28
Gambar 3.5	Standar ASTM untuk dimensi spesimen uji.....	29
Gambar 3.6	Dimensi Benda Uji ( <i>Plate-type</i> ).....	29
Gambar 3.7	Dimensi Benda Uji ( <i>Sheet-type</i> ).....	30
Gambar 3.8	<i>Viewport</i> awal ABAQUS CAE.....	30
Gambar 3.9	Tampilan <i>Sketcher</i> .....	31
Gambar 3.10	Hasil dari <i>Module Part</i> .....	31
Gambar 3.11	Hasil dari <i>Module Property</i> .....	32
Gambar 3.12	Hasil dari <i>Module Assembly</i> .....	32
Gambar 3.13	<i>Viewport</i> pada <i>Module Step</i> .....	33
Gambar 3.14	Hasil dari <i>Module interaction</i> .....	34
Gambar 3.15	Hasil dari <i>Module load</i> .....	34

Gambar 3.16	Hasil dari <i>Module Mesh</i> .....	35
Gambar 3.17	Visualisasi Hasil Uji Tarik Spesimen Uji.....	36
Gambar 3.18	Contoh Grafik Hasil Analisis ABAQUS.....	36
Gambar 4.1	Profil Baja yang Digunakan untuk Spesimen Uji .....	41
Gambar 4.2	Hubungan Tegangan-Regangan Tipikal.....	42
Gambar 4.3	Perbandingan Distribusi Tegangan-Regangan dengan Ukuran <i>Meshing</i> 2 dan 4.....	43
Gambar 4.4	Perbandingan Tegangan-Regangan Baja dengan Ukuran <i>Meshing</i> 2 dan 4.....	44
Gambar 4.5	Spesimen Uji Hasil Uji Tarik.....	44
Gambar 4.6	Perbandingan Tegangan-Regangan Baja dengan <i>Increment Size</i> <i>Initial</i> 0,01 dan 0,2 dari Hasil Analisi ABAQUS.....	45
Gambar 4.7	Pemasangan Spesimen Uji Tarik pada UTM .....	46
Gambar 4.8	Perbandingan Distribusi Tegangan-Regangan Tanpa <i>Necking</i> dan Penggunaan <i>Necking</i> .....	46
Gambar 4.9	Perbandingan Tegangan-Regangan Baja Tanpa <i>Necking</i> dan Penggunaan <i>Necking</i> dari Hasil Analisis ABAQUS .....	47
Gambar 4.10	Pemasangan 2 <i>Strain Gauge</i> pada 1 Spesimen Uji.....	47
Gambar 4.11	Perbandingan Tegangan-Regangan di Tengah dan Tepi Benda Uji Profil Hollow.....	48
Gambar 4.12	Perbandingan Tegangan-Regangan di Tengah dan Tepi Benda Uji Profil WF.....	48
Gambar 4.13	Diagram Tegangan-Regangan Plat 1 Web.....	51
Gambar 4.14	Diagram Tegangan-Regangan Plat 2 Web.....	51
Gambar 4.15	Hasil Uji Tarik Plat 1 Web.....	52
Gambar 4.16	Hasil Uji Tarik Plat 2 Web.....	52
Gambar 4.17	Diagram Tegangan-Regangan Hollow 1 Flens.....	53
Gambar 4.18	Diagram Tegangan-Regangan Hollow 2 Flens.....	53
Gambar 4.19	Hasil Uji Tarik Hollow 1 Flens.....	54
Gambar 4.20	Hasil Uji Tarik Hollow 2 Flens.....	54
Gambar 4.21	Diagram Tegangan-Regangan WF 2 Flens.....	55
Gambar 4.22	Diagram Tegangan-Regangan WF 2 Web.....	55
Gambar 4.23	Hasil Uji Tarik WF 2 Flens.....	56

Gambar 4.24	Hasil Uji Tarik WF 2 Web.....	56
Gambar 4.25	Diagram Tegangan-Regangan Siku 1 Flens.....	57
Gambar 4.26	Diagram Tegangan-Regangan Siku 2 Flens .....	57
Gambar 4.27	Hasil Uji Tarik 1 Siku Flens.....	58
Gambar 4.28	Hasil Uji Tarik Siku 2 Flens.....	58
Gambar 4.29	Diagram Tegangan-Regangan Canal 3 Web.....	59
Gambar 4.30	Diagram Tegangan-Regangan Canal 4 Web.....	59
Gambar 4.31	Hasil uji Tarik Canal 3 Web.....	60
Gambar 4.32	Hasil uji Tarik Canal 4 Web.....	60
Gambar 4.33	Distribusi Tegangan-Regangan Hollow 1 Web.....	61
Gambar 4.34	Distribusi Tegangan-Regangan pada Canal 1 Web.....	61
Gambar 4.35	Distribusi Tegangan-Regangan pada Plat 1 Web.....	62
Gambar 4.36	Distribusi Tegangan-Regangan pada Siku 1 Flens.....	62
Gambar 4.37	Distribusi Tegangan-Regangan pada WF 2 Flens.....	63

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	DATA EKSPERIMENTAL DENGAN <i>STRAIN GAUGE</i> SPESIMEN UJI PLAT .....	72
Lampiran 2	DATA EKSPERIMENTAL DENGAN <i>STRAIN GAUGE</i> SPESIMEN UJI HOLLOW .....	94
Lampiran 3	DATA EKSPERIMENTAL DENGAN <i>STRAIN GAUGE</i> SPESIMEN UJI WF.....	110
Lampiran 4	DATA EKSPERIMENTAL DENGAN <i>STRAIN GAUGE</i> SPESIMEN UJI SIKU.....	131
Lampiran 5	DATA EKSPERIMENTAL DENGAN <i>STRAIN GAUGE</i> SPESIMEN UJI CANAL.....	135
Lampiran 6	DATA EKSPERIMENTAL DENGAN UTM .....	147
Lampiran 7	PERBANDINGAN GRAFIK TEGANGAN-REGANGAN DARI ABAQUS DAN <i>STRAIN GAUGE</i> .....	173

## RINGKASAN

**Ahmad Agus Salim**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2018, *Studi Numerik dan Eksperimental Distribusi Tegangan-Regangan Baja*, Dosen Pembimbing: Dr. Eng. Ming Narto W., ST, MT, M.Sc dan Dr. Eng. Lilya Susanti, ST, MT

Dewasa ini jumlah pembangunan infrastruktur di Indonesia sedang mengalami peningkatan yang sangat pesat. Begitu banyak macam bahan material dan teknologi yang saat ini sudah berkembang dalam kancah konstruksi. Baja adalah salah satu material konstruksi yang sangat banyak digunakan di seluruh dunia untuk pembangunan infrastruktur. Baja menjadi salah satu pilihan yang sangat baik dari sudut pandang keuntungan dan sifat bahan dibandingkan dengan bahan material lainnya.

Dalam perencanaan suatu infrastruktur menggunakan baja seorang *engineer* harus mampu mendesain secara optimal dengan berbagai analisis yang dilakukan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian material baja untuk mengetahui karakteristiknya, sehingga perencanaan suatu struktur dapat dilakukan dengan optimal. Pengujian baja dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti halnya dilakukan pengujian secara eksperimental di laboratorium maupun dengan analisis numerik menggunakan *software*. Salah satu *software* yang dapat digunakan untuk analisis numerik pengujian material adalah ABAQUS CAE. Dengan *software* tersebut kita bisa melakukan pengujian pada sebuah material tanpa harus melakukan pengujian secara eksperimental.

Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa pengujian spesimen uji baja yang dilakukan secara eksperimental di laboratorium dari hasil uji tarik dengan *Universal Testing Machine* dan data dari *strain gauge* dibandingkan dengan analisis numerik menggunakan *software* ABAQUS tidak jauh berbeda, meliputi data grafik tegangan-regangan baja yang didapat dari hasil eksperimental dan analisis numerik menggunakan ABAQUS hampir sama serta distribusi tegangan-regangan yang ditampilkan pada elemen baja hasil analisis numerik ABAQUS menunjukkan kondisi yang sama pada pengujian eksperimental dimana tegangan-regangan tertinggi pada ABAQUS menunjukkan bagian yang mengalami patah pada kondisi sebenarnya benda uji.

**Kata Kunci:** material konstruksi, baja, pengujian secara eksperimental, analisis numerik dengan ABAQUS.



## **ABSTRACT**

**Ahmad Agus Salim**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, January 2018, Numerical and Experimental Study on Stress and Strain Distribution of The Steel Materials, Supervisor: Dr. Eng. Ming Narto W., ST, MT, M.Sc and Dr. Eng. Lilya Susanti, ST, MT

*The number of infrastructure development in Indonesia is experiencing rapid growth at this time. So many kinds of materials and technology that is currently developing in the construction arena. Steel is one of the most widely used to construction materials around the world for infrastructure development. Steel becomes an excellent choice from the point of view of advantages and properties of materials compared to other materials.*

*In planning an infrastructure using steel material an engineer must be able to design optimally with various analyzes performed. Therefore, it is necessary to test the steel material to know its characteristics, so the planning of a structure can be done optimally. Steel testing can be done in various ways, such as experimental testing in the laboratory or by numerical analysis using software. One of the software that can be used for numerical analysis of material testing is ABAQUS CAE. With the software we can perform testing on a material without having to perform experimental testing.*

*From the results of this study it was found that testing specimens of steel performed experimentally in the laboratory from tensile test with Universal Testing Machine and data from strain gauge compared with numerical analysis using ABAQUS software is not much different, including data of steel stress-strain graph obtained from experimental and numerical analysis using ABAQUS are almost identical as well as stress-strain distributions shown on the steel elements from ABAQUS numerical analysis show similar conditions with experimental testing where the highest stress-strain on ABAQUS shows the fractured part on the actual condition of the specimen.*

**Keywords:** construction material, steel, experimental testing, numerical analysis with ABAQUS.



## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dewasa ini jumlah pembangunan infrastruktur di Indonesia sedang mengalami peningkatan yang sangat pesat. Mulai dari pembangunan rumah tinggal, sarana dan prasarana transportasi, pembangunan prasarana maritim, hingga berbagai macam gedung pencakar langit di berbagai kota besar di Indonesia. Hal tersebut memacu kita sebagai seorang *engineer* untuk bisa menjawab dan menyelesaikan berbagai persoalan serta tantangan yang akan muncul pada masa yang akan datang.

Pembangunan infrastruktur merupakan serangkaian kegiatan yang sangat kompleks dan membutuhkan berbagai macam disiplin ilmu. Selain itu, berbagai bahan material dan teknologi juga sangat mendukung dalam pembangunan infrastruktur ini. Begitu banyak macam bahan material dan teknologi yang saat ini sudah berkembang dalam kancah konstruksi. Namun, pemilihan alternatif penggunaan bahan material dan teknologi sangat bergantung pada perencanaan dan pelaksanaan teknis. Oleh karena itu, sebagai seorang *engineer* harus pandai dalam manajemen semua hal tersebut.

Baja adalah salah satu material konstruksi yang sangat banyak digunakan di seluruh dunia untuk pembangunan infrastruktur, seperti halnya pembangunan bangunan tinggi, tower, gudang, pabrik, dan masih banyak lagi. Baja menjadi salah satu pilihan yang sangat baik dari sudut pandang keuntungan dan sifat bahan dibandingkan dengan bahan material lainnya.

Dalam perencanaan suatu infrastruktur menggunakan baja seorang *engineer* harus mampu mendesain secara optimal dengan berbagai analisis yang dilakukan. Penentuan beban rencana yang bekerja pada struktur baja maupun elemen baja tidak selalu dapat dilakukan secara tepat. Sebagai contoh apabila beban rencana dapat diketahui, namun distribusi beban pada elemen baja tidak dapat diketahui secara pasti, sehingga membutuhkan sebuah asumsi dan pendekatan.

Berdasarkan hal tersebut di atas, perlu dilakukan pengujian material baja untuk mengoptimalkan perencanaan. Apabila sifat-sifat mekanik baja bisa diketahui, maka segala asumsi dan pendekatan itu dapat dipastikan. Salah satu cara untuk mengetahui sifat mekanik

baja adalah dengan dilakukannya Pengujian Tarik atau *Tensile Test*. Dari hasil pengujian tarik akan didapatkan nilai kekuatan baja sehingga dapat melakukan perencanaan infrastruktur yang sesuai dengan karakteristik material.

Selain itu, dari hasil pengujian tarik juga akan didapatkan diagram tegangan-regangan yang terjadi. Diagram tegangan-regangan tersebut adalah gambaran dari proses pembebanan yang diberikan pada material baja mulai dari awal penarikan hingga baja putus. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibahas tentang tegangan-regangan pada beberapa titik sepanjang elemen baja dan distribusi tegangan disepanjang elemen baja akibat uji tarik.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Elemen baja ini didesain untuk material struktural pada suatu konstruksi infrastruktur yang akan menahan beban. Elemen baja ini harus mampu menahan beban yang akan diterimanya. Sehingga diperlukan penelitian untuk mengetahui mutu baja dan tegangan-regangan yang terjadi pada elemen baja akibat beban yang bekerja.

## 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan di atas, maka dalam penelitian ini didapat rumusan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana diagram tegangan-regangan untuk beberapa jenis profil baja pada uji tarik?
2. Bagaimana perbedaan diagram tegangan-regangan hasil uji baja dengan *Tensile Test* dan program ABAQUS?
3. Bagaimana distribusi tegangan yang terjadi pada elemen baja akibat uji tarik?

## 1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka dalam penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Data tegangan-regangan baja didapatkan dari hasil eksperimental uji tarik menggunakan UTM dan *strain gauge*.
2. Studi numerik dilakukan dengan *software* ABAQUS.
3. Analisis hanya dilakukan untuk uji tarik.
4. Profil baja yang digunakan :
  - a. Light Lip Channels 125.50.20.2,3
  - b. Siku Sama Kaki 60.60.6
  - c. Hollow Structural Tubings 100.50.3,2

- d. WF 200.100.5,5.8
- e. Pelat tebal 8 mm

### **1.5 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui diagram tegangan-regangan untuk beberapa jenis profil baja yang didapat dari uji tarik.
2. Mengetahui perbedaan hasil uji baja dengan *Tensile Test* dan program ABAQUS.
3. Mengetahui distribusi tegangan yang terjadi pada elemen baja akibat uji tarik.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui perbedaan hasil pengujian baja dengan *Tensile Test* dan program ABAQUS. Selain itu, dari penelitian ini bisa dilihat distribusi tegangan yang terjadi pada baja serta tegangan-regangan di berbagai titik elemen baja akibat uji tarik. Penelitian ini juga bisa menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya.



## **BAB II DASAR TEORI**

### **2.1 Pengujian Tarik**

Pengujian tarik ( *Tensile test* ) suatu material dilakukan untuk mengetahui beban tarik maksimum yang dapat ditahan oleh suatu material, yaitu beban yang timbul apabila pada bagian material bekerja beberapa gaya dengan arah garis kerja yang bertolak-belakang. Untuk dapat menentukan beban maksimum tersebut, kita dapat melakukannya dengan memberi beban suatu material dengan tarikan yang semakin lama semakin besar dan mengukur beban maksimum yang dapat ditahan sebelum material tersebut putus. Putus atau patah yang terjadi pada material berarti bahwa unsur galur material tersebut terlepas pada bagian yang putus tersebut. (Groenendijk, 1980)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu material, sehingga dapat diketahui kekurangan maupun kelebihan dari suatu material. Beberapa sifat mekanik yang dapat diketahui dari pengujian ini adalah kekuatan dan nilai elastisitas dari suatu material. Dari hasil tersebut dapat digunakan untuk perencanaan maupun rekayasa teknik untuk suatu produk material yang digunakan pada konstruksi.

### **2.2 Spesimen Uji Tarik**

Ukuran dan bentuk dari suatu spesimen uji tarik sudah ada standarnya, namun pada beberapa kasus tertentu diijinkan menggunakan ukuran dan bentuk spesimen uji tarik yang tidak mengikuti standar yang ada dengan beberapa pertimbangan tertentu. Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik yang terstandar disebut dengan spesimen uji proporsional, dan yang tidak terstandar disebut dengan spesimen uji non proporsional. Bentuk spesimen uji tarik dapat berupa lingkaran, segi empat, ataupun berbentuk profil yang lain.

### **2.3 Deformasi**

Deformasi dapat terjadi bila suatu material diberi beban/gaya. Selama deformasi, suatu material menyerap energi yang diakibatkan oleh adanya gaya yang bekerja pada material. Sekecil apapun gaya yang diberikan pada material, maka material tersebut akan mengalami

perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan bentuk dan ukuran secara fisik ini yang disebut dengan deformasi. Deformasi dibagi menjadi dua jenis yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi pada material akibat beban yang diterima, namun ketika beban tersebut dihilangkan maka material akan kembali ke bentuk dan ukuran semula. Sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen pada material, sehingga ketika beban yang bekerja dihilangkan maka material tersebut tidak dapat kembali ke bentuk dan ukuran semula. (Edi Jasmani, 2001)

Penambahan beban yang dilakukan pada material yang sudah mencapai kekuatan maksimum tidak bisa dilakukan dikarenakan pada keadaan tersebut material sudah mengalami deformasi secara keseluruhan. Penambahan beban yang terus dilakukan pada spesimen uji menyebabkan regangan yang terus bertambah sehingga material akan terlihat menguat yang biasa disebut dengan *strain hardening* (penguatan regangan). Kemudian hal tersebut akan membuat material putus pada kekuatan putusnya. (Singer dan Pytel, 1995).

## 2.4 Tegangan (*Stress*)

Tegangan merupakan besaran dari hasil pengukuran nilai intensitas gaya ( $F$ ) atau reaksi dalam yang timbul per satuan luas ( $A$ ). Berikut merupakan persamaan tegangan menurut Singer (1995).

$$\sigma = \frac{F_n}{A} \dots\dots\dots (2-1)$$

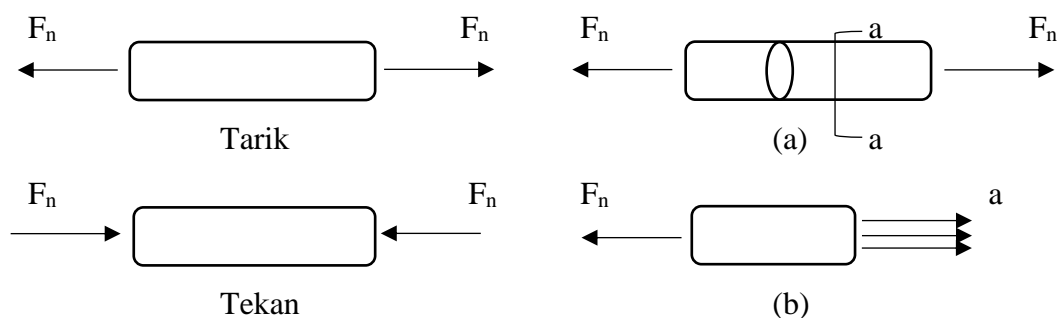
dengan:

$\sigma$  = tegangan ( $\text{kN/mm}^2$ )

$F_n$  = gaya yang bekerja ( $\text{kN}$ )

$A$  = luas penampang ( $\text{mm}^2$ )

Tegangan normal bernilai positif jika menimbulkan gaya tarik (*tensile*) dan bernilai negatif apabila menimbulkan gaya tekan (*compression*). Tegangan normal ( $\sigma$ ) merupakan tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang luas. (Timoshenko dan Goodier, 1986)



Gambar 2.1 Tegangan Normal (*Normal Stress*)



Pada *Gambar 2.1* (a) dan (b) diasumsikan bahwa tegangan terbagi rata pada seluruh bagian penampang, kita dapat melihat bahwa resultan gaya  $F_n$  harus sama dengan intensitas tegangan dikalikan dengan luas penampang.

Menurut Marciniak, dkk. (2002), tegangan dibedakan menjadi dua macam yaitu *True stress* dan *Engineering stress*. *Engineering stress* adalah pengukuran besarnya nilai gaya reaksi yang bekerja dibagi dengan luas permukaan mula-mula, dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_{eng} = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(2-2)$$

dengan:

$$\sigma_{eng} = \text{Engineering stress (kN/mm}^2\text{)}$$

$$F = \text{Gaya (kN)}$$

$$A_0 = \text{Luas permukaan mula-mula (mm}^2\text{)}$$

Sedangkan yang dimaksud *True stress* yaitu tegangan yang dihasilkan dari pengukuran besarnya nilai gaya reaksi dibagi luas permukaan material sebenarnya (*actual*). *True stress* dapat dihitung dengan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2-3)$$

dengan:

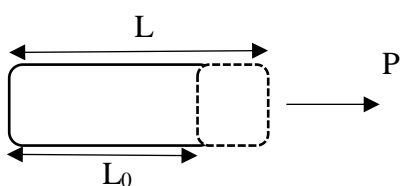
$$\sigma = \text{True stress (kN/mm}^2\text{)}$$

$$F = \text{Gaya (kN)}$$

$$A = \text{Luas permukaan actual (mm}^2\text{)}$$

## 2.5 Regangan (*Strain*)

Jika suatu material diberi gaya tarik maupun tekan sebesar  $P$ , gaya  $P$  yang bekerja pada material menimbulkan tegangan antarpartikel dalam elemen material tersebut yang besarnya berbanding lurus. Perubahan tegangan partikel ini mengakibatkan adanya pergeseran struktur material berupa regangan ataupun himpitan yang besarnya juga berbanding lurus. Pergeseran struktur material inilah yang mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk material, misalnya perubahan panjang dari panjang awal  $L_0$  menjadi  $L$ . Perbandingan antara perpanjangan dengan panjang awal inilah yang disebut dengan regangan (*strain*) dan dilambangkan dengan “ $\epsilon$ ” (epsilon).



*Gambar 2.2* Regangan (*Strain*)

Menurut Singer (1995), untuk mencari nilai regangan ( $\epsilon$ ) dapat dilakukan dengan membagi perpanjangan total ( $L - L_0$ ) dengan panjang awal ( $L_0$ ), dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{(L - L_0)}{L_0} \dots\dots\dots (2-4)$$

dengan:

$\epsilon$  = regangan

$(L - L_0)$  = perubahan panjang (m)

$L_0$  = panjang awal (m)

Jika suatu material diberi gaya tarik, maka regangannya disebut regangan tarik (*tensile strain*) yang ditunjukkan dengan terjadinya perpanjangan pada material. Sedangkan jika suatu material diberi gaya tekan, maka regangannya disebut regangan tekan (*compressive strain*) yang ditunjukkan dengan terjadinya perpendekan pada material tersebut. Regangan tarik diberi tanda positif dan regangan tekan diberi tanda negatif. Regangan ( $\epsilon$ ) disebut juga regangan normal karena regangan ini berkaitan dengan tegangan normal. (Gere & Timoshenko, 1997)

Regangan Menurut Marciniak dkk. (2002) dibedakan menjadi dua macam, yaitu *true strain* dan *engineering strain*. *Engineering strain* merupakan regangan yang dihitung berdasarkan dimensi benda mula-mula (panjang mula-mula). Oleh karena itu, untuk menghitung nilai *engineering strain* dapat dilakukan dengan membagi perpanjangan yang terjadi dengan panjang mula-mula. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung *Engineering strain*.

$$\epsilon_{eng} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2-5)$$

dengan:

$\Delta l$  = Pertambahan panjang

$l_0$  = Panjang awal

$l$  = Panjang setelah diberi gaya

Sedangkan *True strain* adalah regangan yang dihitung secara bertahap (*increment strain*), dengan regangan dihitung berdasarkan pada kondisi dimensi material saat itu (sebenarnya), bukan berdasarkan panjang awal dimensi material. Oleh karena itu, *true strain* ( $\epsilon$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\epsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} \dots\dots\dots (2-6)$$

dengan:

$\varepsilon$  = *True strain*

$l_o$  = Panjang awal

$l$  = Panjang setelah diberi gaya

## 2.6 Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan antara tegangan-regangan dapat dirumuskan seperti berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{P}{A}}{\frac{\delta}{L}} \dots\dots\dots(2-7)$$

Dari persamaan di atas, nilai deformasi ( $\delta$ ) dirumuskan sebagai berikut:

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E} \dots\dots\dots(2-8)$$

dengan:

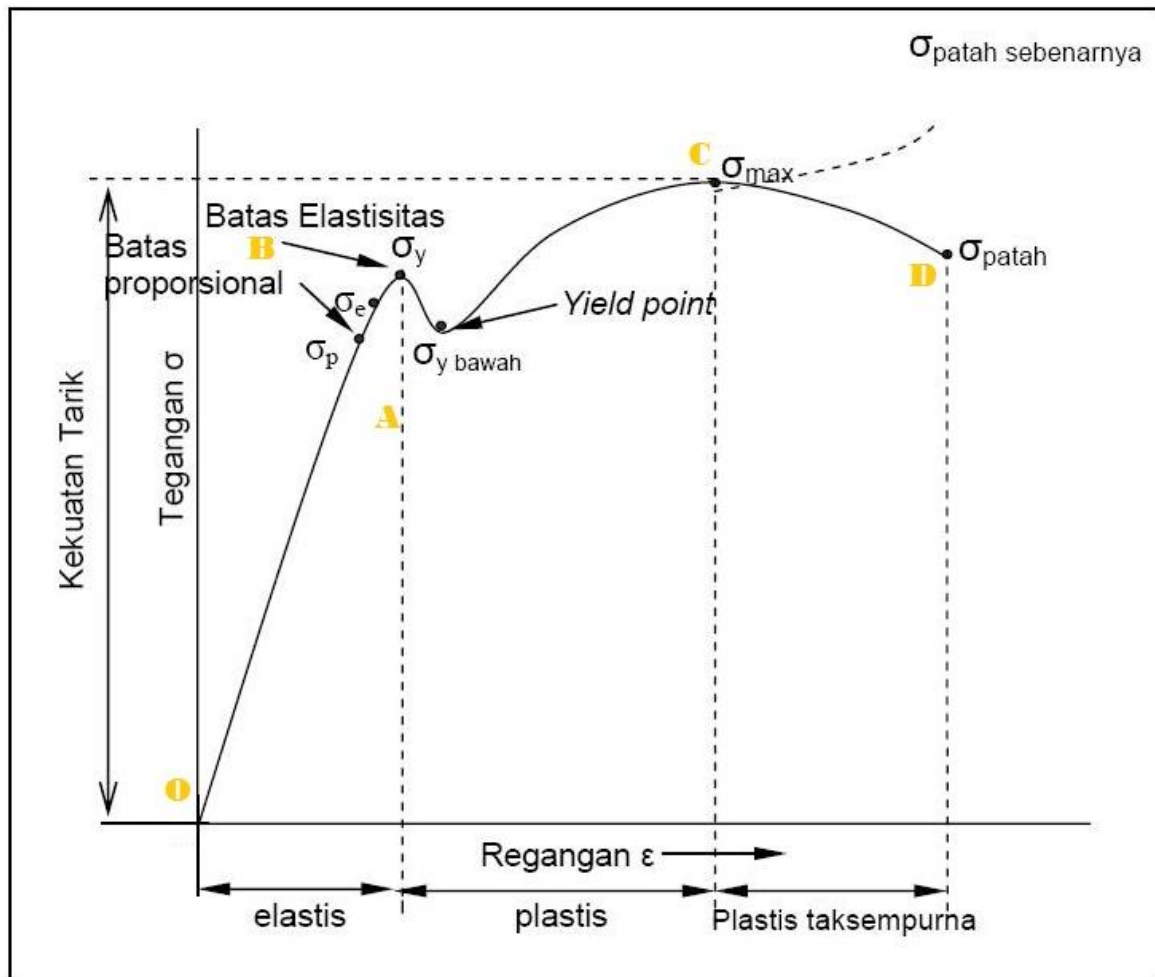
$P$  = Beban (kN)

$L$  = Panjang mula-mula (mm)

$A$  = Luas permukaan (mm<sup>2</sup>)

$E$  = Modulus Elastisitas (kN/mm<sup>2</sup>)

Sebuah spesimen uji yang diberikan beban secara bertahap dan dilakukan terus-menerus akan mengalami deformasi. Pada tahap-tahap awal pembebanan suatu spesimen uji akan mengalami deformasi elastis, namun sampai batas kondisi tertentu spesimen uji akan mengalami deformasi plastis. Untuk tahap-tahap awal pembebanan spesimen uji berada di bawah kekuatan leleh material sehingga masih dapat kembali pada bentuk benda seperti sebelum dibebani, hal ini disebabkan sifat elastisnya suatu material. Penambahan beban yang melebihi kekuatan leleh (*yield point*) yang dimiliki spesimen uji akan menyebabkan terjadinya deformasi plastis, sehingga spesimen uji tidak dapat kembali ke bentuk semula. Hal tersebut dapat dilihat pada diagram tegangan-regangan seperti gambar berikut.



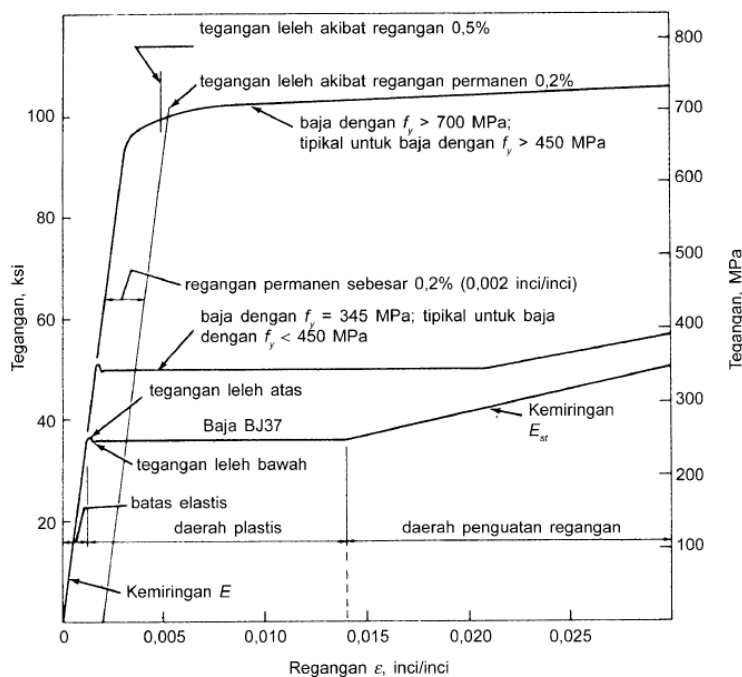
Gambar 2.3 Diagram Tegangan-Regangan

Perbandingan yang linier antara gaya tarik yang diberikan dengan regangan yang terjadi hanya berlaku sampai pada kondisi batas tegangan tarik tertentu, yang sering disebut dengan batas proporsional, dimana batas ini dipengaruhi oleh sifat-sifat suatu material. Dalam penelitian untuk mengetahui sifat-sifat mekanis di atas batas proporsional, hubungan tegangan-regangan material sering dilakukan dengan menggambarkan secara grafik dari suatu hasil pengujian tarik. Dalam hal ini regangan yang terjadi digambarkan sebagai sumbu horisontal dan tegangan-regangan yang terjadi digambarkan dengan titik-titik O, A, B, C, dan D. Tegangan dari titik O sampai titik A adalah daerah proporsional. Di atas titik A mulai terjadi penyimpangan, sehingga titik A adalah batas proporsional. Penambahan beban yang berkelanjutan mengakibatkan pertambahan panjang (regangan) pada titik B sehingga grafik menjadi melengkung. Titik B adalah titik leleh (*yield point*) yang ditandai dengan regangan spesimen uji yang terus bertambah dengan penambahan gaya tarik yang sedikit. Pemberian gaya tarik pada spesimen uji yang terus diperbesar akan mengakibatkan adanya perlawanan internal oleh molekul material hingga mencapai titik C, pada titik inilah terjadi

gaya tarik maksimum yang dapat ditahan oleh spesimen uji. Tegangan yang terjadi merupakan kekuatan tertinggi (*ultimate strength*) dari material yang diuji. Setelah melewati titik C regangan spesimen uji masih terus bertambah walaupun beban yang diberikan semakin berkurang dan pada akhirnya spesimen uji mengalami pengecilan ukuran (*necking*) dan akhirnya patah (*fracture*) yang terjadi di titik D.

Kekuatan leleh adalah nilai tegangan terendah disaat elemen material mulai terjadi deformasi plastis. Titik  $\sigma_y$  atas merupakan titik leleh atas dan titik  $\sigma_y$  bawah merupakan titik leleh bawah yang ditandai dengan pengurangan beban yang terjadi tiba-tiba, kemudian diikuti oleh perpanjangan yang meningkat dan kemudian peningkatan nilai beban yang terjadi tiba-tiba. Peristiwa ini disebut sebagai melelehnya suatu bahan, yang ditandai dengan adanya perubahan bentuk yang plastis dan naik-turunnya beban yang terjadi.

Pada titik leleh tersebut grafik hubungan tegangan-regangan sudah tidak linier lagi, namun sifat elastis masih sedikit terjadi di atas batas proporsional. Batas proporsional adalah tegangan tertinggi yang terjadi pada kondisi material masih mengalami deformasi elastis dan belum mengalami deformasi plastis. Pada umumnya batas daerah plastis dan daerah elastis sulit untuk ditentukan. Oleh sebab itu, didefinisikanlah kekuatan leleh (*yield strength*). Titik leleh (*yield point*) adalah titik perpindahan dari daerah elastis ke daerah plastis. Di bagian titik leleh ini material mulai mengalami deformasi plastis yang sifatnya permanen, jika beban mulai dilepas material tidak dapat kembali ke bentuk semula.



Gambar 2.4 Hubungan Tegangan-Regangan Tipikal

Sumber: Salmon & Johnson, Steel Structures Design and Behavior, 4<sup>th</sup> ed.

Gambar di atas merupakan hubungan tegangan-regangan tipikal untuk beberapa jenis mutu baja. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi mutu baja, maka material baja akan semakin getas, dimana hal tersebut ditandai dengan perbedaan antara tegangan leleh dengan tegangan puncak tidak terlalu jauh.

## 2.7 Elastisitas dan Plastisitas

### 2.7.1 Elastisitas

Elastisitas merupakan sifat yang dimiliki suatu material yang membuat material akan kembali ke bentuk seperti semula setelah diberi beban atau mengalami perubahan bentuk meskipun beban dihilangkan. Sebuah material yang dapat kembali sepenuhnya ke bentuk semula disebut elastis sempurna, sedangkan material yang tidak dapat sepenuhnya kembali ke bentuk semula disebut elastis parsial (sebagian). (S. Timoshenko dan Goodier, 1986)

Elastisitas suatu material sangat ditentukan oleh nilai modulus elastisitas. Berikut merupakan persamaan untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas suatu material.

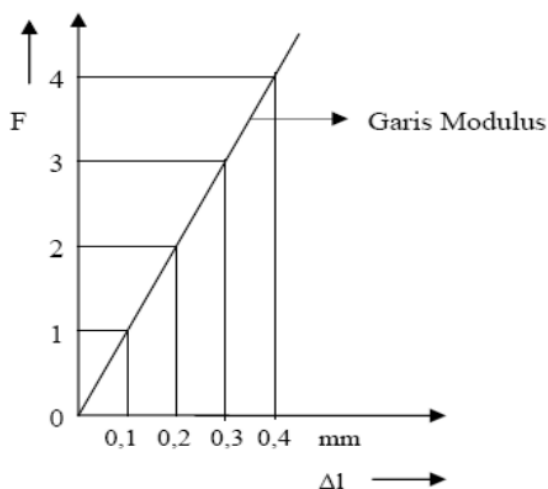
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots (2-9)$$

dengan:

$\sigma$  = Tegangan (Mpa)

$\varepsilon$  = Regangan

Garis modulus berupa garis lurus pada grafik beban dan perpanjangan yang menunjukkan suatu kondisi beban yang berbanding lurus dengan perpanjangan yang terjadi seperti gambar berikut.



Gambar 2.5 Garis Modulus

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa semakin besar sudut garis modulus suatu material yang dihasilkan terhadap sumbu x, maka hal itu berarti bahwa suatu material tersebut memiliki ketahanan yang tinggi terhadap perubahan bentuk elastis dan memiliki nilai modulus elastisitas yang tinggi.

### 2.7.2 Plastisitas

Plastisitas merupakan sifat yang ada pada suatu material, yaitu ketika pemberian beban dilakukan kepada suatu material sampai mengalami perubahan bentuk kemudian beban tersebut dihilangkan maka benda tidak bisa kembali lagi sepenuhnya ke bentuk semula.

Teori plastis dibagi menjadi dua macam, yaitu teori fisik dan teori matematik (Mondelson, 1983).

#### 1) Teori fisik

Teori ini menjelaskan bagaimana proses aliran suatu material menjadi plastis. Meninjau pada kandungan mikroskopik material seperti pengerasan kristal atom dan dislokasi butir kandungan material saat mengalami tahap plastisitas.

#### 2) Teori matematik

Teori ini didasarkan pada fenomena logis alami dari suatu material yang kemudian dideterminasikan ke dalam suatu rumus yang dipergunakan sebagai acuan perhitungan pengujian material tanpa diabaikannya sifat dasar dari material.

## 2.8 Kurva Tegangan-Regangan

Menurut Marciniak dkk. (2002) ada beberapa hal yang harus diketahui mengenai tegangan-regangan dalam mekanis suatu bahan, yaitu:

#### 1) Kurva *True stress* and *True strain*

Proses pengepresan (*stamping*) atau *sheet metal forming* menggunakan sifat plastis (*plasticity*) dari suatu material logam yang mengakibatkan suatu pelat menjadi bentuk baru apabila diberikan regangan melebihi batas elastisnya (*elasticity*) sehingga terjadi deformasi permanen.

Hal yang mendasar dari proses pengepresan adalah memanfaatkan sifat plastisitas dari material saat pelat diberi gaya. Oleh karena itu, dengan memanfaatkan plastisitas tersebut proses pembentukan dapat dicapai, dimana bentuk pelat akan sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan (Rao, 1987). Konsep ini terdapat pada kurva tegangan-regangan sebenarnya (*true strain- true stress*). Menurut Timoshenko dan Goodier (1986) Daerah

plastis berada pada garis kurva di atas titik leleh yang merupakan batas tegangan dimana material tidak bisa kembali ke bentuk seperti semula meskipun beban dihilangkan dan akan terjadi deformasi permanen yang disebut *permanent set*.

Persamaan kurva tegangan-regangan dalam bentuk eksponensial adalah sebagai berikut:

$$\sigma = K \epsilon^n \dots\dots\dots (2-10)$$

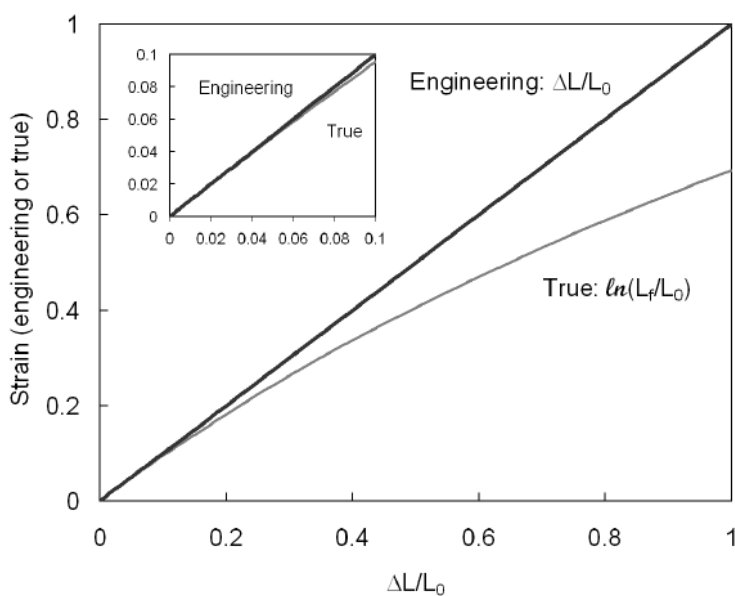
dengan:

$\sigma$  = Tegangan

$K$  = *Strenght coefficient*

$n$  = *Hardening exponent*

$\epsilon$  = Regangan



Gambar 2.6 Kurva *True stress* dan *True strain*

Sumber: John Maloney, 2006

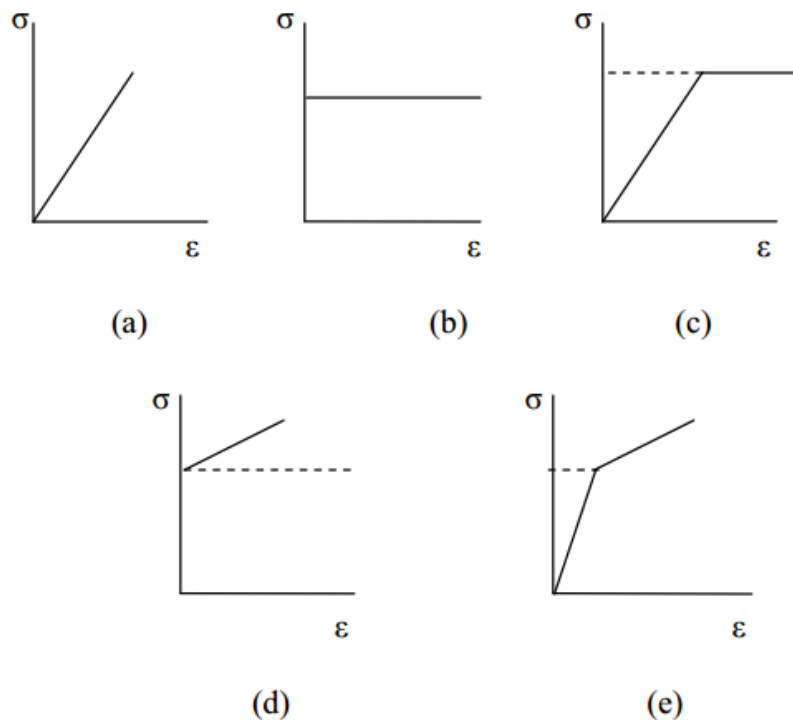
Prinsip tegangan pada kondisi plastis didasarkan pada teori *Von Mises Stress*. Kriteria terjadinya leleh yang digunakan secara luas adalah ketika luasan bidang suatu material mulai terdeformasi plastis sampai tegangan pada permukaan luasan mencapai nilai maksimum (kritis). Beberapa peneliti menyatakan bahwa mereka menggunakan kriteria ini. Teori ini disebut dengan teori batas leleh tegangan sisa (*von mises yield theory*). (Marciniak dkk., 2002)



## 2) Kurva *Stress – Strain*

Semua material memiliki kurva *Stress-Strain* yang bervariasi tergantung dari komposisi materialnya, struktur elemennya, dan beberapa faktor lain seperti perlakuan panas. Berikut merupakan jenis-jenis kurva *Stress – Strain* yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

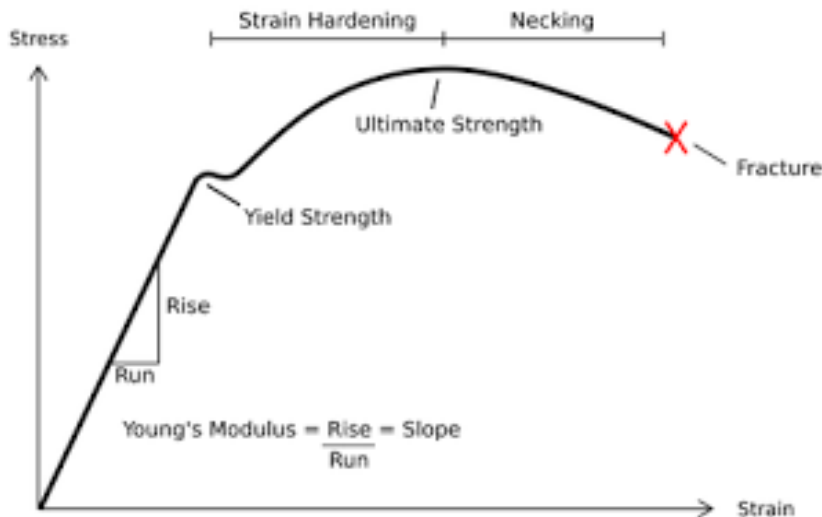
- Perfectly elastic*
- Rigid, perfectly plastic*
- Elastic, perfectly plastic*
- Rigid, lineary strain hardening*
- Elastic, lineary strain hardening*



Gambar 2.7 Jenis-jenis Kurva *Stress – Strain*

## 2.9 Konversi *Engineering Strain* ke *True Strain* dan *Engineering Stress* ke *True Stress*

Sifat plastis suatu material bisa ditunjukkan oleh *yield point* dan *post yield*. Pergeseran dari elastis ke plastis terjadi pada suatu titik tertentu yang biasanya dikenal sebagai batas regang. Ketika spesimen uji dilakukan pembebanan maka akan ada regangan yang terjadi dan apabila pembebanan tersebut terus dilakukan maka tegangan pada material yang terjadi menjadi tidak linier lagi dengan bertambahnya regangan, hal ini bisa dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.8 Karakteristik hubungan Tegangan (*strees*) – Regangan (*strain*)

Pada saat memasukkan nilai plastisitas material dalam *software* ABAQUS harus dalam bentuk nilai *true stress* dan nilai *true strain*. Tetapi sering kali data yang ada berupa *nominal strain* dan *nominal stress*. Oleh karena itu, dalam penggunaannya harus dikonversikan terlebih dahulu.

*Nominal strain* dihitung dengan persamaan:

$$\epsilon_{\text{nom}} = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - \frac{l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1 \dots\dots\dots(2-11)$$

Kemudian *True strain* dihitung dengan *nominal strain* menggunakan persamaan:

$$\epsilon = \ln (1+ \epsilon_{\text{nom}}) \dots\dots\dots (2-12)$$

Hubungan antara *true stress* dan *nominal strain* dibentuk dengan asumsi bahwa *volumetric deformation* diabaikan, maka:

$$l_0.A_0 = l.A \dots\dots\dots(2-13)$$

Oleh karena itu penampang yang terjadi dari penampang mula-mula menjadi:

$$A = A_0 \frac{l_0}{l} \dots\dots\dots(2-14)$$

Kemudian diperoleh nilai *true stress* menjadi persamaan:

$$l.\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{A_0} \cdot \frac{l}{l_0} = \sigma_{\text{nom}} \left( \frac{l}{l_0} \right) \dots\dots\dots(2-15)$$

Sehingga nilai *true stress* bisa dihitung dengan nilai *nominal stress* dan *nominal strain*:

$$\sigma = \sigma_{\text{nom}} (1+\epsilon_{\text{nom}}) \dots\dots\dots(2-16)$$

## 2.10 Dekomposisi pada *Plastic Strain*

Nilai regangan yang didapatkan dari spesimen uji yang digunakan untuk mengetahui perilaku plastis bukanlah *plastic strain* pada material, melainkan berupa *total strain* yang terjadi pada suatu material. Oleh sebab itu, harus dilakukan dekomposisi pada *total strain* menjadi komponen *elastic strain* dan *plastic strain* dengan persamaan berikut.

$$\varepsilon^{pl} = \varepsilon^l - \varepsilon^{el} = \varepsilon^l - \frac{\sigma}{E} \quad \dots\dots\dots(2-17)$$

dengan:

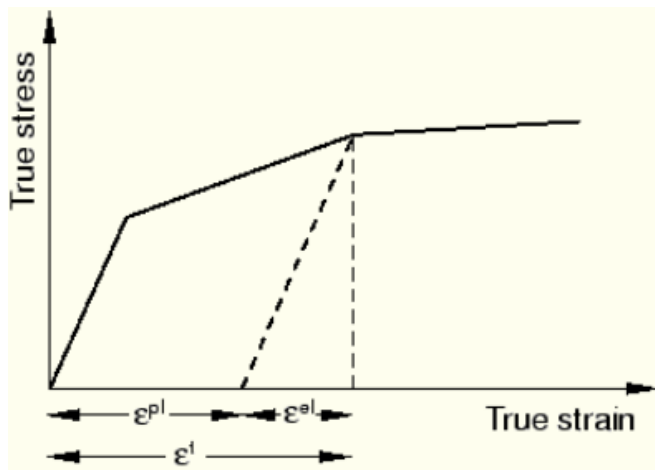
$\varepsilon^{pl}$  = true plastic strain

$\varepsilon^l$  = true total strain

$\varepsilon^{el}$  = true elastic strain

$\sigma$  = true stress

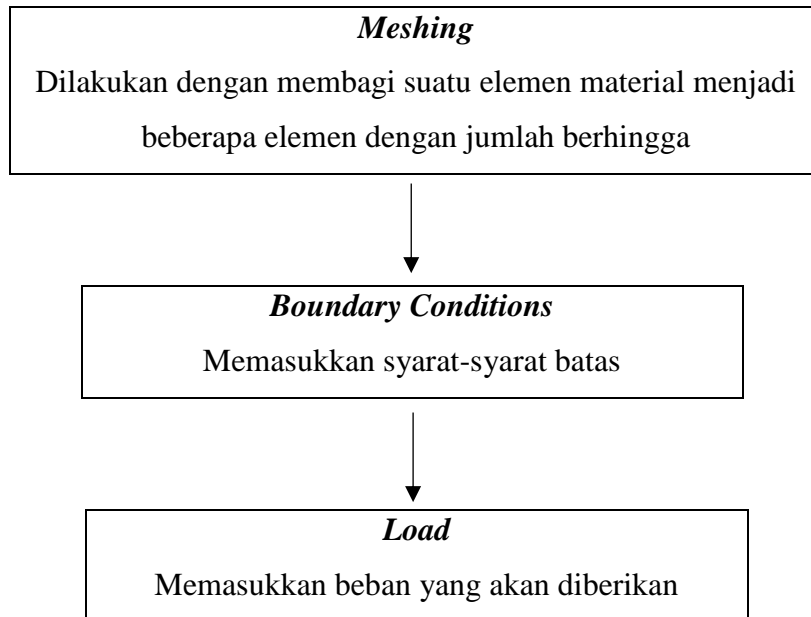
E = Modulus Young



Gambar 2.9 Dekomposisi Total Strain ke Komponen Plastic dan Elastic

### 2.11 Metode Numerik

Metode Numerik dalam hal ini menggunakan Metode Elemen Hingga (*finite element method*) yang digunakan sebagai solusi pendekatan yang mampu memecahkan permasalahan-permasalahan mekanika menggunakan geometri maupun pembebanan yang kompleks (Cook, 1990). Digunakan metode pembagian meshing (pemodelan *mesh*) sebagai pendekatan, yaitu dengan membuat *partition* dalam bidang material dan penentuan node di dalamnya.



Gambar 2.10 Langkah Analisis dengan Metode Elemen Hingga (*finite element method*)

Metode ini mempunyai karakteristik yang serupa dengan metode numerik yang lainnya, yaitu untuk memperoleh nilai pendekatan. Metode ini selalu digunakan sebagai iterasi untuk mendapatkan harga yang paling mendekati harga eksak. Secara eksak dalam Metode Elemen Hingga dilakukan berbagai asumsi peralihan pada setiap elemennya dengan tahap-tahap sebagai berikut:

- 1) Membagi suatu elemen material menjadi beberapa elemen (*sub region*) berhingga dengan memilih suatu elemen yang cocok untuk sebuah geometri struktur analisis.
- 2) Membuat asumsi fungsi peralihan tiap elemen sedemikian rupa, sehingga peralihan di tiap titik sembarang dipengaruhi oleh nilai titik nodalnya.
- 3) Membuat persamaan pendekatan dengan menurunkan persamaan keseimbangan untuk setiap nodal yang dihasilkan dari hasil diskretisasi elemen material sesuai dengan distribusi elemen.
- 4) Mengeksakkan sistem persamaan pendekatan fungsi peralihan nodal.

Model elemen untuk struktur pada umumnya disesuaikan dengan kasus-kasus yang ada maupun masalah fisik yang ditemui. Model elemen dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

1) Elemen garis (Elemen satu dimensi)

Elemen ini hanya mempunyai dimensi panjang. Biasa digunakan untuk memodelkan benda yang memiliki panjang jauh lebih besar dibandingkan dengan lebar dan tingginya seperti pipa, kolom, balok, dan lain-lain. Berdasarkan kemampuannya dalam menahan beban, elemen satu dimensi dibagi menjadi dua macam, yaitu;

- a.. Bar : Elemen yang hanya bisa menahan beban pada bagian panjangnya saja.
- b. Beam : Elemen yang bisa menahan beban tegak lurus pada bidang potongnya.

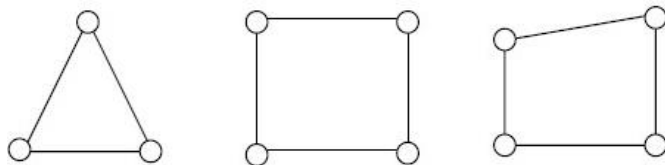


*Gambar 2.11* Elemen Satu Dimensi

2) Elemen Dua Dimensi

Elemen ini biasa digunakan untuk membuat model benda yang memiliki satu dimensi jauh lebih kecil dibandingkan dengan dua dimensi lainnya.

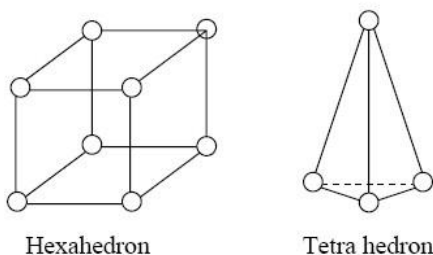
- a. Membran : Bisa menahan beban yang sejajar pada bidangnya saja.
- b. Plat : Selain dapat menahan beban yang searah bidangnya juga bisa menahan beban tegak lurus terhadap bidangnya.



*Gambar 2.12* Elemen Dua Dimensi

3) Elemen Tiga Dimensi

Elemen ini biasa digunakan untuk memodelkan suatu elemen material secara utuh.



*Gambar 2.13* Elemen Tiga Dimensi

Program ABAQUS merupakan salah satu dari program metode elemen hingga (*finite element method*) yang digunakan untuk mensimulasikan proses dari pembuatan suatu komponen material dan untuk menganalisa kekuatan dari material tersebut, kemudian dapat ditarik kesimpulan dari hasil simulasi dan analisa tersebut sebagai hasil pendekatan dari proses produksi yang sesungguhnya. Oleh karena itu, digunakan program ABAQUS CAE dengan pemodelan *meshing* sebagai pendekatannya.

## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 *Software* Analisis**

Pada penelitian kali ini, secara keseluruhan menggunakan *software* ABAQUS CAE untuk analisis tegangan-regangan baja dan distribusi tegangan pada baja akibat beban yang diberikan dengan data tegangan-regangan yang didapat dari hasil uji tarik baja menggunakan UTM dengan pemasangan *strain gauge* pada spesimen uji.

### **3.2 Metode Penelitian**

Langkah-langkah penelitian kali ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Menentukan topik yang akan digunakan untuk penelitian.
- 2) Studi lapangan dan literatur, pemodelan spesimen uji baja pada *software* Abaqus.

Penulis melakukan studi lapangan dan literatur sebagai dasar teori untuk menganalisis permasalahan. Selain itu, studi lapangan juga digunakan sebagai perbandingan hasil uji baja dengan *Tensile Test* dengan *software* Abaqus. Selanjutnya dilakukan pemodelan specimen uji baja menggunakan *software* Abaqus yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut pada *software* tersebut.

- 3) Memasukkan data (*input data*) ke dalam *software* Abaqus dan kemudian dianalisis (*running process*).

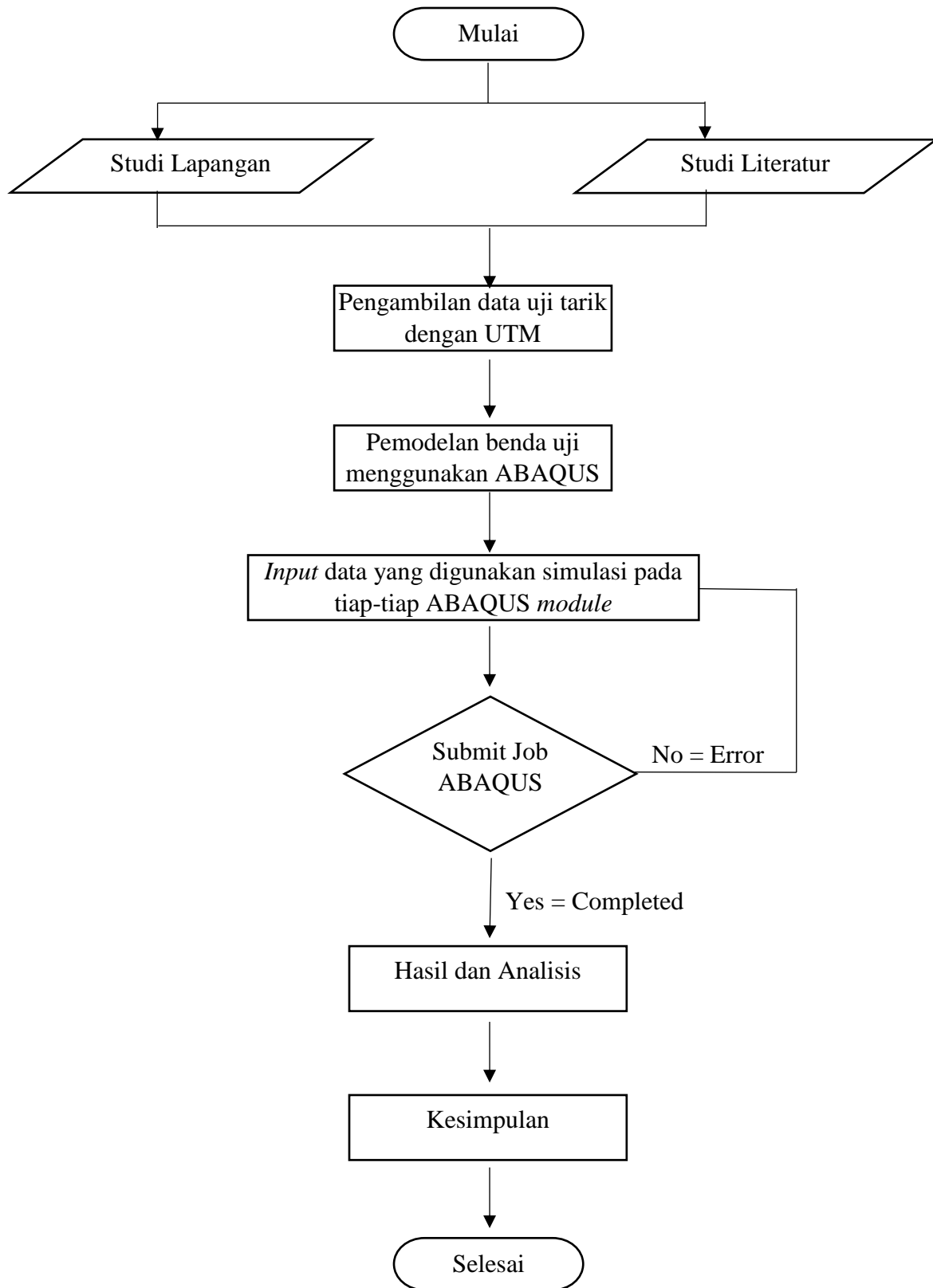
Data berupa sifat mekanik material dimasukkan ke dalam *software* Abaqus untuk proses analisis.

- 4) Hasil dari Analisis

Data didapat dari hasil *Tensile Test* dan hasil *software* Abaqus yang selanjutnya akan dibahas serta dianalisis.

- 5) Kesimpulan

Meliputi hal utama yang bisa diambil setelah dilakukannya penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



### 3.3 Pengambilan Data Eksperimental

#### 3.3.1 *Universal Testing Machine*

*Universal Testing Machine* (UTM) merupakan mesin uji gaya sumbu tunggal tarik/tekan yang sering digunakan dalam pengujian material logam maupun material lainnya yang memiliki karakteristik yang dipengaruhi oleh gaya yang diberikan pada material tersebut.



*Gambar 3.2 Universal Testing Machine*

Cara penggunaan *Universal Testing Machine* adalah dengan memberikan gaya tekan atau gaya tarik kepada material yang diujikan. Suatu spesimen uji tersebut dipasang pada mesin UTM kemudian diberikan gaya tekan atau gaya tarik yang semakin bertambah besar yang pada akhirnya menekan atau menarik spesimen uji tersebut, sehingga spesimen uji tersebut akan mengalami perpendekan atau perpanjangan. Dalam hal ini, spesimen uji yang dimaksudkan ialah profil-profil baja yang sudah ditentukan dan disesuaikan ukurannya dengan standar yang ada, dimana benda uji ini akan dilakukan uji gaya tarik dan akan diambil data pertambahan panjang yang terjadi untuk mengetahui regangannya, setelah itu dicari tegangannya dari data beban yang diberikan.

#### 3.3.2 Prosedur Pelaksanaan Uji Tarik Baja

Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan pengujian tarik baja dengan mesin UTM adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan dan memeriksa spesimen uji yang akan diuji. Mencatat ukuran spesimen uji (panjang, lebar, dan tebal mula-mula).

- 2) Memasang *strain gauge* pada spesimen uji serta menghubungkannya dengan *strain meter* (alat pembaca regangan).
- 3) Memeriksa keadaan mesin serta peralatan yang akan digunakan serta memastikan bahwa semuanya dalam keadaan baik.
- 4) Memutar tombol *switch* utama pada posisi “1”, tombol *switch* terletak pada bagian belakang mesin dalam *switch gear cabinet*.
- 5) Menghidupkan mesin UTM dengan menekan tombol “ON”.
- 6) Mengatur posisi katup pada kedudukan “closed”.
- 7) Memutar kran pengatur pada posisi menutup (putar ke kanan agak kencang) atau pada posisi “1”.
- 8) Mengatur kedudukan *kopling* atau *lever* dalam keadaan netral (nol) dengan cara memutar *micro controller*.
- 9) Menentukan piringan beban/*load* sesuai dengan bahan spesimen uji yang akan diuji.
- 10) Menjepit ujung spesimen uji bagian atas pada *grip chuck*. Mengatur skala perpanjangan pada posisi nol (dengan *kopling lever*). Menjepit ujung benda uji bagian bawah (tentukan ukuran panjangnya) dengan mengatur kedudukan *chuck* bagian bawah. Mengatur jarum *indicator* pada posisi nol (dengan catatan tidak ada beban).
- 11) Memasang kertas untuk grafik pertambahan beban dan pertambahan panjang.
- 12) Memulai pengujian secara perlahan-lahan sambil memutar *micro controller* ke kanan (dapat dilihat pada skala *dial*).
- 13) Membaca dan mencatat *strain meter* pada setiap pertambahan beban sebesar 1 kN pada indikator.
- 14) Setelah spesimen uji patah, melepas spesimen uji dari mesin UTM dan mengukur panjang spesimen uji setelah patah, tebal dan lebar pada patahan.
15. Menyusun tabel pengujian dan gambar grafik hubungan tegangan-regangan.

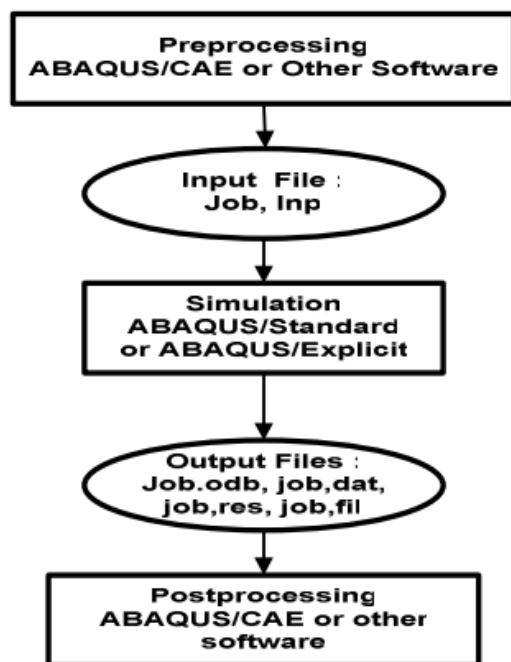
### **3.4 Studi Numerik dengan Software ABAQUS CAE**

#### **3.4.1 Pengertian Software ABAQUS CAE**

*Software* ABAQUS menyediakan program yang bisa memodelkan benda yang akan dianalisis yang diberi CAE. Program tersebut berfungsi sebagai desain model yang kekuatan dari materialnya dapat dimasukkan dari data-data material yang ada. Seperti berbagai program komputer yang adadi pasaran, *software* ABAQUS memiliki CAD / CAM/ CAE yang berfungsi sebagai program untuk analisis elastis dan plastis. Keunggulan ABAQUS dibandingkan dengan program lainnya yang sejenis yaitu menu yang lengkap pada *part*

*modulnya*. Selain itu, kita juga bisa melakukan pengujian terhadap material dengan memasukkan data material secara manual di dalam *input file*. Pengembangan bahasa program dalam ABAQUS membuat para desainer lebih mudah dalam menentukan metode yang digunakan untuk melakukan proses simulasi dan analisis. (ABAQUS CAE User manual, 2003)

Kemungkinan terjadi kegagalan dan kesalahan selama proses *running* dari *input file* yang sudah dimasukkan biasanya disebabkan karena kesalahan dalam meng-*input* data pada *module* ABAQUS CAE. Analisis ABAQUS secara lengkap terdiri dari tiga tahap, yaitu: *preprocessing*, simulasi, dan *postprocessing* yang dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 3.3 Diagram Aliran Proses *Running*  
Sumber: Abaqus Analysis User's Manual 6.9.

Dengan mengikuti alur diagram di atas suatu permasalahan dapat diatasi dengan cepat dan tepat. Sebagai suatu program untuk desain dan analisis numerik, ABAQUS dapat bekerja pada daerah elastis dan plastis dengan hasil tampilan sebuah grafik yang berupa diagram *linier-non linier* lengkap.

#### 3.4.1.1 *Preprocessing* (ABAQUS CAE)

Pemodelan *part* dilakukan pada ABAQUS CAE dengan menggambarkan geometri spesimen uji yang dilakukan secara manual maupun hanya dengan *import* dari *input file*. ABAQUS juga menyediakan menu yang dapat digunakan untuk *import sketch*, *part* serta

model dari perangkat lunak yang lain seperti Pro Engineering, CATIA, MARC, PATRAN, dan lain sebagainya. Dalam menggambar model spesimen uji yang akan kita analisis, kita dapat menentukan koordinat sistem yang akan kita buat. Sebelum kita melakukan simulasi kita harus memasukkan data spesimen uji yang berupa karakteristik bahan pada ABAQUS CAE, sehingga semua *parameter* dan *keyword* yang kita masukkan ke dalam *input file* dapat diperiksa kebenarannya sebelum kita melakukan proses *running*. Tahap-tahap dalam memasukkan data harus kita perhatikan dengan teliti karena antara satu modul dengan modul lain saling berkaitan. Secara garis besar tahapan dalam memasukan data ke dalam modul-modul ABAQUS CAE adalah sebagai berikut:

1) *Module Part*

*Module Part* merupakan bagian dari modul yang akan digunakan untuk menggambar spesimen uji yang akan disimulasikan dengan ABAQUS CAE. *Part module* menyediakan berbagai menu *toolbar* yang berfungsi untuk melakukan beberapa modifikasi bentuk maupun benda dan ukuran sesuai dengan model yang akan kita buat.

2) *Module Property*

*Module Property* memiliki fungsi sebagai tempat *input* data sifat mekanis bahan, kekuatan bahan, jenis material, dan spesifikasi teknis lainnya dari spesimen uji yang akan dianalisis. *Module property* ini sangatlah penting sebelum kita melanjutkan kelangkah selanjutnya, karena *property* dari material harus diberikan dengan benar sebelum kita melakukan proses *assembly*.

3) *Module Assembly*

*Module Assembly* berfungsi untuk menyusun beberapa bagian dari suatu komponen (*instance part*) yang disatukan menjadi satu kesatuan model yang memungkinkan untuk dilakukan analisis numerik pada model yang dibuat.

4) *Module Step*

*Module Step* digunakan untuk mengatur tahapan yang akan didefinisikan sebagai suatu letak pemberian beban maupun kecepatan pada model spesimen uji. *Step module* menyediakan menu *Surface* dan *Set* untuk meletakkan suatu beban yang akan bekerja pada model spesimen uji.

#### 5) *Module Interaction*

Modul ini berfungsi untuk menentukan bagian model spesimen uji yang akan mengalami kontak. *Module Interaction* juga berguna untuk memberikan *constraint* pada model yang akan dianalisis untuk mencegah perpindahan spesimen dari kedudukan awalnya akibat beban yang bekerja.

#### 6) *Module Load*

*Module Load* berfungsi sebagai tempat memberi beban maupun kecepatan pada spesimen uji. *Module load* juga berfungsi sebagai sarana untuk mengatur tipe kondisi batas (*boundary condition*) yang akan digunakan pada spesimen uji.

#### 7) *Module Mesh*

*Module Mesh* berfungsi untuk membagi geometri dari spesimen uji yang dibuat menjadi *node* dan elemen. Modul ini digunakan untuk mengatur jenis *meshing* yang akan digunakan serta ukuran *meshing* yang diberikan pada spesimen uji.

#### 8) *Module Job*

Modul ini digunakan untuk melakukan proses *running* pada model spesimen uji yang telah dibuat. Setelah selesai memasukkan data kemudian menyerahkannya pada *module job* dan akan dilakukan proses analisis secara numerik. Selama proses numerik berlangsung di dalam *software*, bisa dilakukan *monitoring* dari *message area* yang berada di bawah *viewport* apakah *submit job* berhasil atau tidak. Apabila ada *error message*, maka harus kembali ke *module-module* sebelumnya untuk mengecek kesalahan dan melakukan perbaikan terhadap bagian-bagian yang masih terdapat kesalahan.

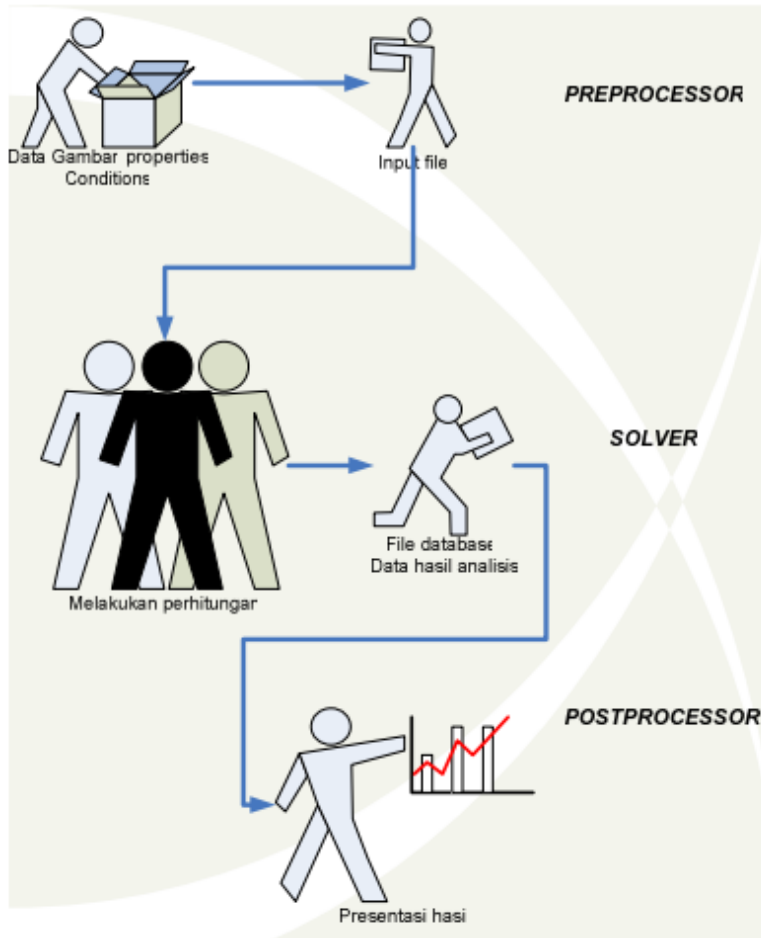
### 3.4.1.2 Simulasi (ABAQUS *Standard* dan ABAQUS *Explicit*)

ABAQUS *Standard* dan ABAQUS *Explicit* berfungsi untuk melakukan proses simulasi dari hasil *processing* di dalam *software* ABAQUS. Pada tingkat ini ABAQUS mampu memecahkan permasalahan yang diberikan ke dalam program dengan melakukan penyelesaian analisis secara numerik.

### 3.4.1.3 *Post Processing* (ABAQUS CAE)

Pada tahap ini, bisa dievaluasi mengenai hasil dari simulasi yang sudah lengkap (*Completed*) yang berupa data regangan, tegangan ataupun variabel fundamental lainnya

yang telah selesai *dirunning*. Evaluasi dilakukan secara interaktif menggunakan modul visualisasi pada ABAQUS CAE atau *post processor* yang lain. Modul visualisasi mempunyai bermacam–macam pilihan untuk menampilkan *output database* yang meliputi plot kontur warna, plot grafik X-Y, plot perubahan bentuk, animasi, dan lain sebagainya.



Gambar 3.4 Tahapan kerja *Preprocessor*, *Solver* (simulasi), dan *Postprocessor*

### 3.4.2 Pemodelan dengan *Software* ABAQUS CAE

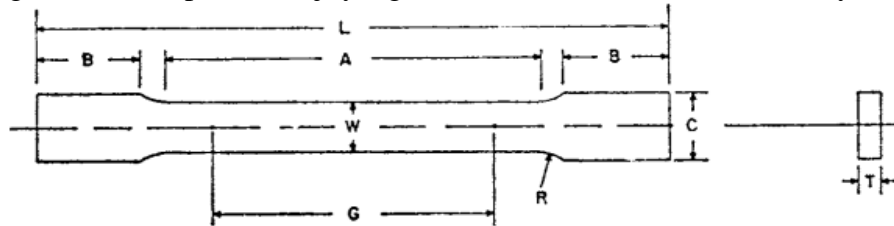
Pemodelan spesimen uji yang akan diuji dapat dibuat dengan berbagai macam cara tergantung dari pemakainya sendiri. Model spesimen uji bisa digambar langsung pada ABAQUS CAE ataupun dengan bantuan program lain yang memiliki fasilitas CAE. ABAQUS CAE yang digunakan sebagai sarana untuk tempat memasukkan *input data* ke dalam *file* berperan penting bagi desainer yang ingin melakukan analisis numerik menggunakan *software* ini. Sebelum memulai menggambar model yang akan dibuat, yang pertama harus dilakukan adalah mempersiapkan data dimensi dari model spesimen uji yang akan digambar. Dimensi dari model yang akan digambar diambil dari ukuran spesimen uji

sebenarnya sehingga diperoleh model yang mendekati dengan spesimen uji yang sebenarnya.

Pada pengujian ini, dipakai beberapa profil spesimen uji meliputi:

1. Light Lip Channels 125.50.20.2,3
2. Siku Sama Kaki 60.60.6
3. Hollow Structural Tubings 100.50.3,2
4. WF 200.100.5,5.8
5. Plat tebal 8 mm

Dengan dimensi spesimen uji yang sudah ditentukan sesuai ASTM , yaitu:

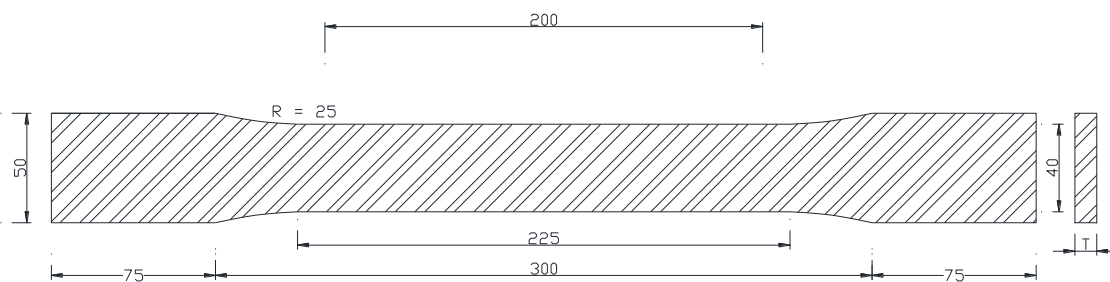


	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
$G$ —Gage length (Note 1 and Note 2)	$200.0 \pm 0.2$ [8.00 $\pm$ 0.01]	$50.0 \pm 0.1$ [2.000 $\pm$ 0.005]	$25.0 \pm 0.1$ [1.000 $\pm$ 0.003]
$W$ —Width (Note 3 and Note 4)	$40.0 \pm 2.0$ [1.500 $\pm$ 0.125, -0.250]	$12.5 \pm 0.2$ [0.500 $\pm$ 0.010]	$6.0 \pm 0.1$ [0.250 $\pm$ 0.005]
$T$ —Thickness (Note 5)		thickness of material	
$R$ —Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
$L$ —Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
$A$ —Length of reduced section, min	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
$B$ —Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
$C$ —Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

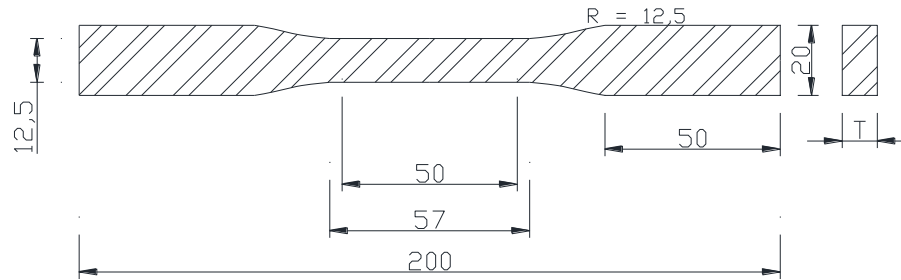
Gambar 3.5 Standar ASTM untuk Dimensi Spesimen Uji

Sumber: ASTM E8/E8M-09

Sehingga, digunakan pemodelan spesimen uji dengan dimensi sebagai berikut:



Gambar 3.6 Dimensi Benda Uji (Plate-type)

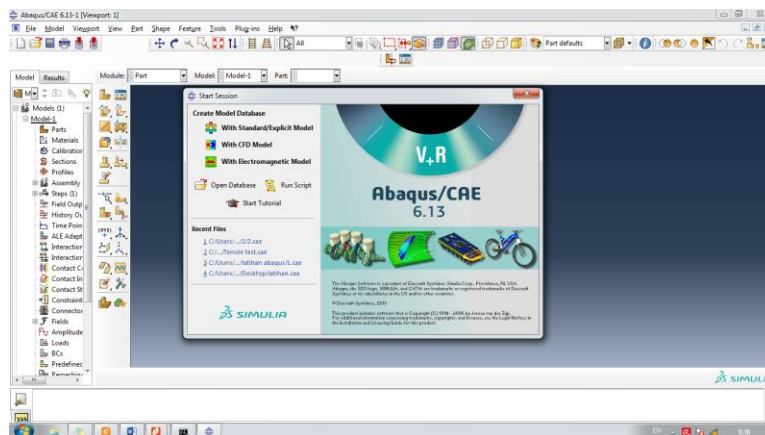


Gambar 3.7 Dimensi Benda Uji (Sheet-type)

Fasilitas tersedia di dalam program ABAQUS CAE sangatlah lengkap, oleh karena itu pemodelan spesimen uji langsung bias dilakukan tanpa harus menggunakan bantuan *software* lainnya. Berikut ini adalah cara-cara dalam menggambarkan model spesimen uji dengan menggunakan fasilitas ABAQUS CAE. Langkah-langkah pemodelan dengan ABAQUS CAE adalah sebagai berikut:

#### 1) Membuka Menu ABAQUS CAE

Masuk ke program ABAQUS CAE bisa dari *shortcut* yang ada di *desktop* komputer atau dari panel *start*, kemudian membuka ABAQUS CAE. Setelah muncul tampilan layar pada *viewport*, pilih *With Standard/Explicit Model* pada *Create Model Database*.



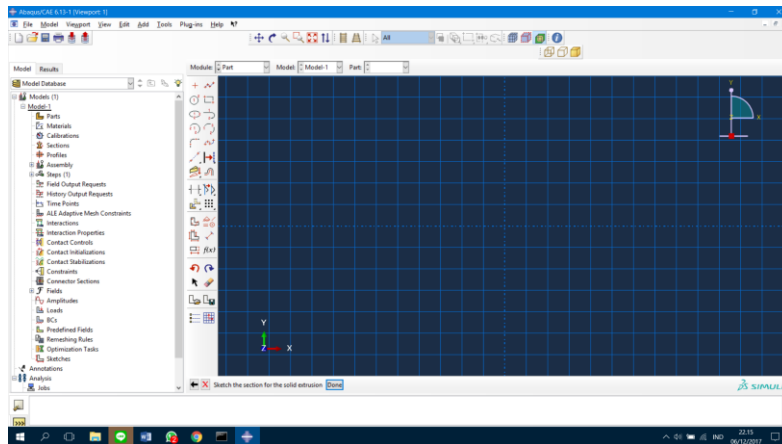
Gambar 3.8 Viewport awal ABAQUS CAE

#### 2) Masuk pada *Module Part* ABAQUS CAE

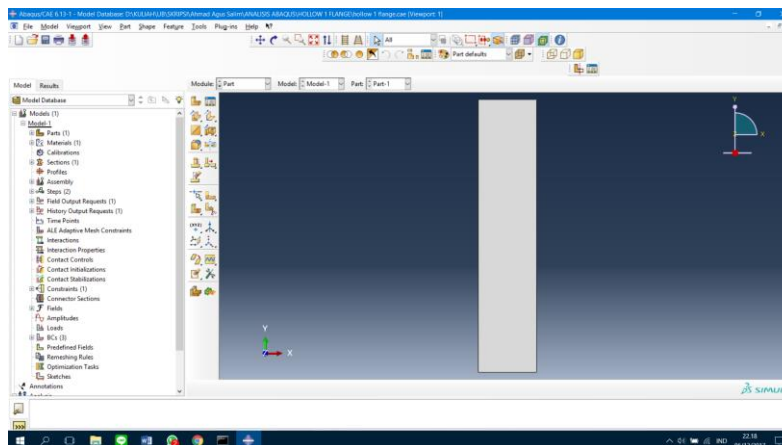
Modul ini digunakan untuk pemodelan geometri spesimen uji yang akan diuji. Ukuran-ukuran dari spesimen uji dimasukan ke dalam *field* atau kolom yang tersedia di dalam *part module*. Pada saat pemodelan ada beberapa yang harus diperhatikan yaitu dimensi dan bentuk spesimen uji yang dibuat karena di sini ada berapa jenis model yang bisa dipilih dan sangat berpengaruh pada proses simulasi yang akan dilakukan. Jika terjadi kesalahan pada saat memasukan data atau jenis elemen, maka ketika masuk modul *assembly* akan mendapat



peringatan jika elemen yang dipilih adalah salah. Setelah berada pada *part module*, selanjutnya klik *create part* untuk membuat *part* baru. Pada bagian *Shape* pilih *Shell Type Planar*, karena pada model ini menggunakan analisis *Shell* bukan solid, dimana elemen dengan tebal kurang dari 20 x panjang elemen dianggap sebagai *Shell*. Selanjutnya langsung masuk pada *sketcher* dan siap untuk menggambarkan model yang akan dibuat. Pada bagian tersebut akan ada *approximate size* yang berfungsi untuk menentukan skala pada *sketcher* yang sesuai dengan dimensi spesimen uji yang akan dibuat.



Gambar 3.9 Tampilan Sketcher



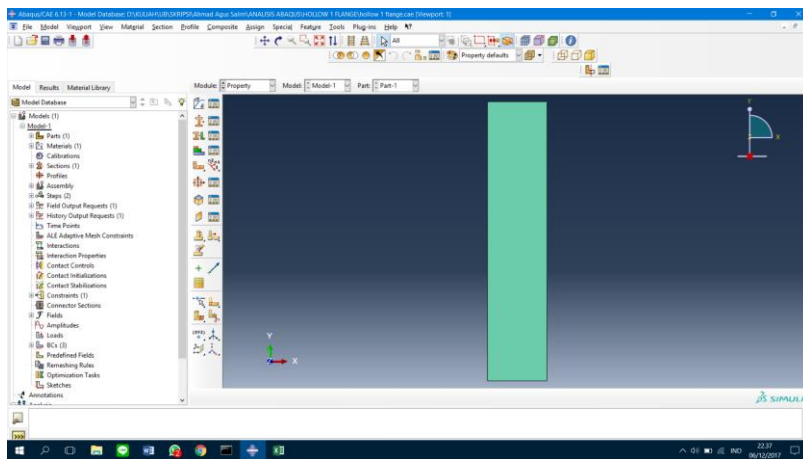
Gambar 3.10 Hasil dari Module Part

### 3) Masuk pada *Module Property* ABAQUS CAE

Modul yang sudah dibuat selanjutnya harus diberi *property* supaya bisa dianalisis oleh *solver* pada ABAQUS. Pada saat memasukkan *property* material ke dalam model yang telah dibuat harus dilakukan dengan teliti karena ada kemungkinan suatu bagian yang lupa didefinisikan. Kegagalan dalam proses *running* terhadap spesimen uji yang telah dibuat salah satu penyebabnya adalah lupa untuk memberi definisi material, *section* material dan

*assign section* pada material spesimen uji. Pilih modul *property* kemudian klik *Create Material*. Pada kotak dialog *Edit material* masukkan data material benda yang akan dianalisis. Masukkan nilai *density*, nilai elastisitas dan nilai plastisitas karena benda uji akan mengalami deformasi disepanjang bidang kontak akibat beban yang diberikan. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

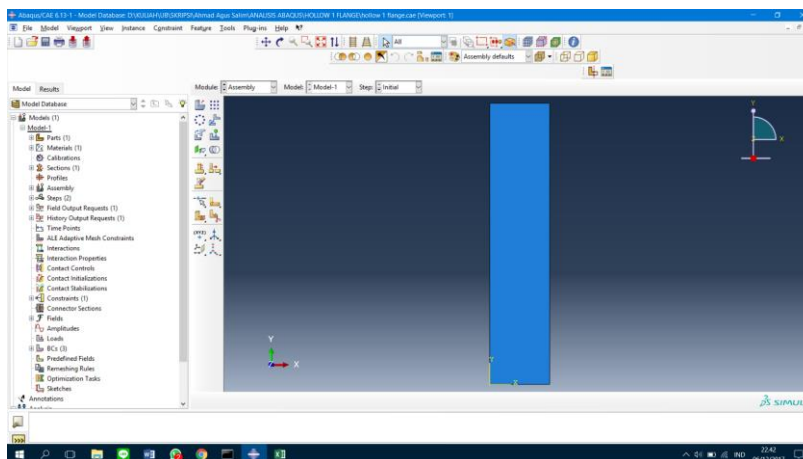
- Klik *Create Material*, dan ketik nama Material-1 pada kotak *name*.
- Klik pada *Mechanical*, lalu klik *elastic*, masukkan 200000 pada dialog *young's modulus* dan 0.3 pada dialog *poisson's ratio*.
- Klik pada *Plasticity*, kemudian klik *plastic*, masukkan besarnya nilai *Yield Stress* dan *Plastic Strain* sesuai dengan standar teoritis untuk material baja yang dikonversikan ke *True Stress* dan *True Strain*.



Gambar 3.11 Hasil dari Module Property

#### 4) Masuk pada *Module Assembly* ABAQUS CAE

Pada penelitian ini spesimen uji hanya terdiri dari satu bagian saja, sehingga yang dilakukan pada *Module Assembly* ini pilih *Create Instance from: Part 1*, klik *Apply*.

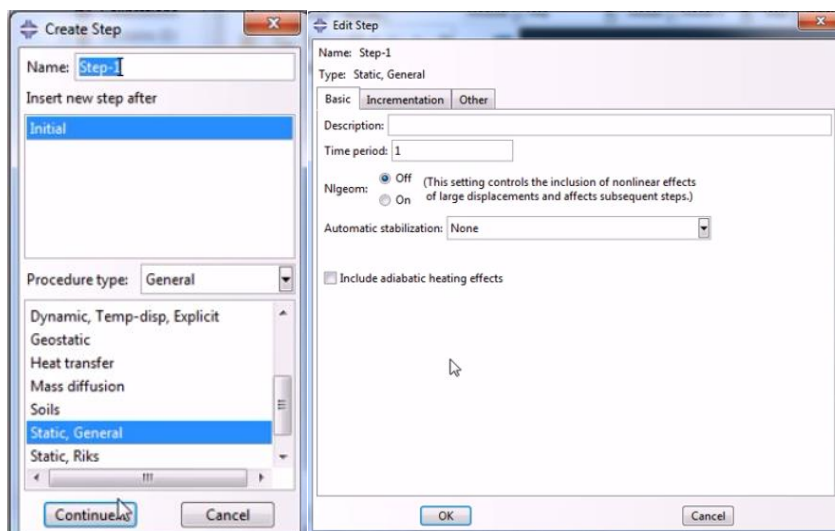


Gambar 3.12 Hasil dari Module Assembly

### 5) Masuk pada *Module Step* ABAQUS CAE

*Module Step* berguna untuk menentukan langkah yang akan dilakukan pada proses simulasi. Dalam menentukan *Step* yang diinginkan kita harus mengetahui bagaimana model dari spesimen uji yang akan diuji. *Step* yang dipilih didasarkan pada berapa banyak proses yang dilakukan untuk analisis. Pada penelitian ini menggunakan *Step Static, General* dengan pertimbangan bahwa selama gaya tarik bekerja, benda uji mengalami perilaku statis yang menyebabkan terjadinya deformasi sementara pada daerah elastis dan deformasi permanen pada daerah plastis. Berikut adalah langkah-langkah pada *Module Step*:

- a. Klik *Create Step*.
- b. Pilih *Static, General*.
- c. Klik *Continue*.
- d. Pilih *on* pada *Nlgeom*.
- e. Masukkan nilai *increment size* pada *Incrementation*.
- f. Klik OK.



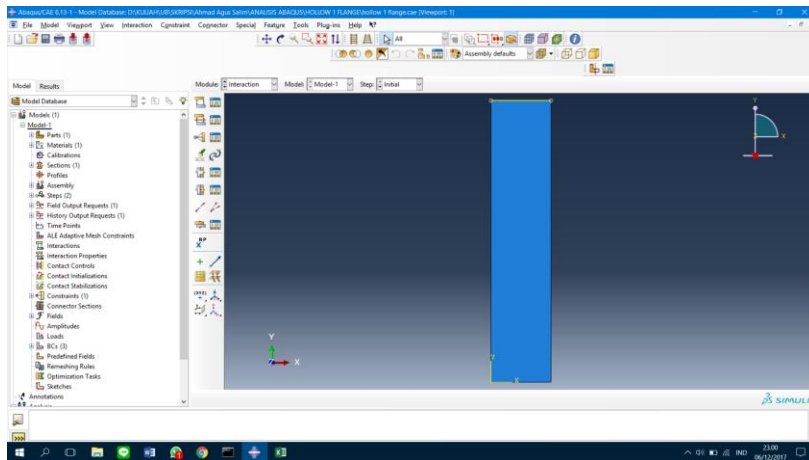
Gambar 3.13 Viewport pada *Module Step*

### 6) Masuk pada *Module Interaction* ABAQUS/CAE

*Module interaction* berfungsi sebagai tempat penentuan suatu letak kontak bidang atau jenis interaksi yang akan dialami oleh spesimen uji. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Klik *Create Constraint*, pilih *type Coupling*.
- b. Klik *Continue*.
- c. Klik titik yang dipilih sebagai *constraint control point*.
- d. Klik *Node region*.

- e. Pilih *Cells*.
- f. Klik *cells* yang dipilih.



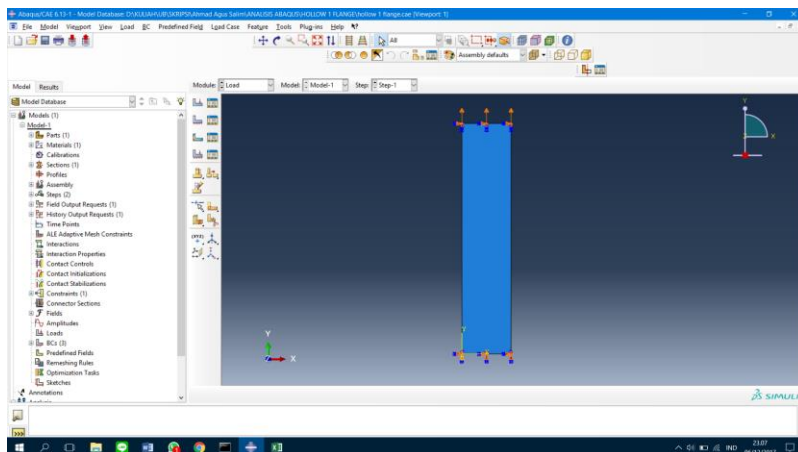
Gambar 3.14 Hasil dari *Module interaction*

## 7) Masuk pada *Module Load* ABAQUS CAE

*Module load* digunakan untuk menentukan jenis beban apa yang diberikan pada model.

Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Klik *Create Boundary Condition*, pilih *Step Initial*, *Category Mechanical*, dan *Symmetry/Antisymmetry/Encastre* untuk *Types for Selected Step*, klik *Cells* lalu klik pada elemen bagian bawah.
- b. Klik *Create Boundary Condition*, pilih *Step Initial*, *Category Mechanical*, dan *Displacement/Rotation* untuk *Types for Selected Step*, klik *Cells* lalu klik pada elemen bagian atas.
- c. Klik *Create Boundary Condition*, pilih *Step-1q*, *Category Mechanical*, dan *Displacement/Rotation* untuk *Types for Selected Step*, klik *Cells* lalu klik pada elemen bagian atas. Masukkan nilai *displacement control* yang akan diberikan.

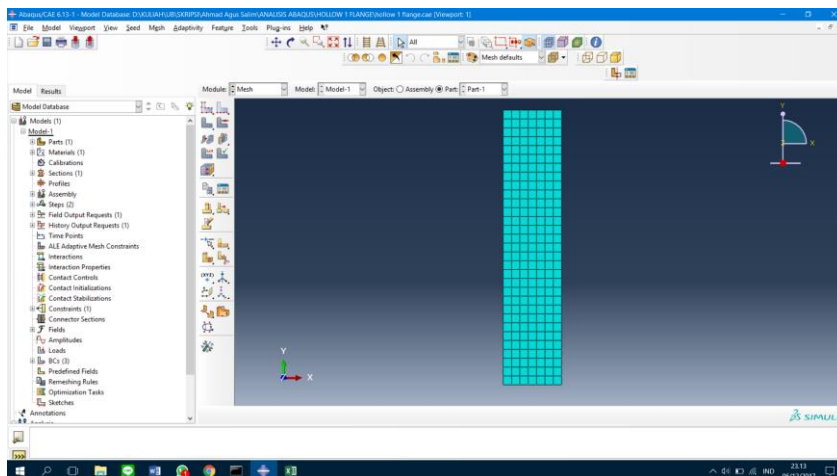


Gambar 3.15 Hasil dari *Module load*

8) Masuk pada *Module Mesh* ABAQUS/CAE

*Module Mesh* digunakan untuk memberi ukuran *meshing* pada suatu model yang ada. Jumlah *node* dan *element* dapat dikontrol menggunakan *mesh control*, juga termasuk beberapa bentuk *element mesh* serta bagaimana penempatan jumlah *nodenya*. *Mesh* sangat penting untuk menentukan suatu keakuratan hasil analisis dan simulasi, hal ini dikarenakan jumlah *node* yang akan diberikan pada sebuah model mempengaruhi ketelitian hasil simulasi. Langkah-langkah pada *Module Mesh* ini adalah sebagai berikut:

- Pilih *Part-1*, pilih *Seed Part*. Pada dialog *Global Seeds*, atur nilai *Approximate global size*.
- Klik *Apply*.
- Klik *OK*.
- Klik *Mesh Part*.
- Klik *Yes*.



Gambar 3.16 Hasil dari *Module Mesh*

9) Masuk pada *Module Job* ABAQUS CAE

*Module Job* digunakan untuk mendeskripsikan suatu model yang kemudian diserahkan kepada program *ABAQUS* untuk melakukan suatu analisis numerik. Pada modul ini dapat dikontrol apakah suatu simulasi yang dilakukan akan berhasil atau tidak, jika ada *error message* di dalam *prompt area* maka harus kembali ke modul-modul sebelumnya untuk mengecek dan memperbaiki kesalahan yang terjadi. Berikut langkah-langkah yang dilakukan pada *Module Job*:

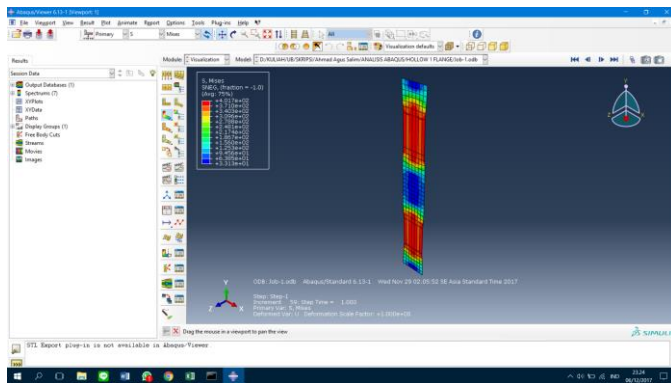
- Klik *Create job*.
- Klik *Continue*.
- Klik *OK*.

Untuk *running process*, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- Klik *Job manager*.
- Klik *Submit*.
- Tunggu sampai status *completed*.
- Klik *Results*.

### 3.4.3 Hasil Analisis dari Software ABAQUS CAE

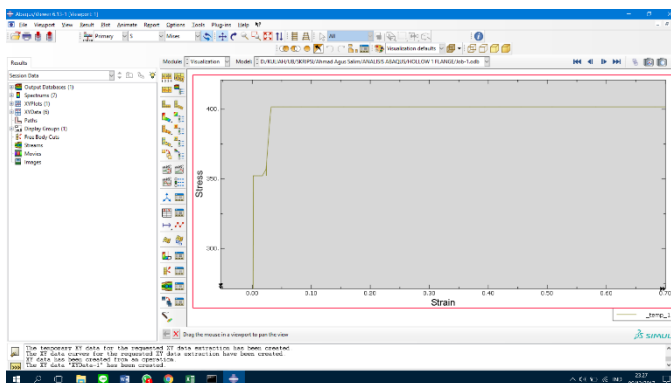
Setelah langkah-langkah yang telah dijelaskan di atas selesai, maka akan masuk pada *Module Visualization*. Pada *Module Visualization* bisa ditampilkan hasil simulasi yang telah dinyatakan berhasil di dalam *software ABAQUS Explicit* dan *ABAQUS Solver input file*. Pengamatan bisa dilakukan pada model meliputi daerah dengan tegangan dan regangan yang tinggi yang dialami benda uji.



Gambar 3.17 Visualisasi Hasil Uji Tarik Spesimen Uji

*Output* yang diinginkan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik dan bisa digunakan sebagai acuan analisis selanjutnya. Cara menampilkan grafik hasil simulasi adalah sebagai berikut:

- Pilih *Create XY Data*, pilih *ODB field output*.
- Pilih diagram yang ingin ditampilkan.



Gambar 3.18 Contoh Grafik Hasil Analisis ABAQUS

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan analisis dan pembahasan hasil uji tarik beberapa profil baja yang dilakukan secara eksperimental dan numerik dengan *software* ABAQUS. Pengujian secara eksperimental dilakukan di laboratorium dengan *Universal Testing Machine* dan dibandingkan dengan hasil analisis numerik secara teoritis dengan *software* ABAQUS.

### 4.1 Dimensi Spesimen Uji

Dari beberapa profil baja yang telah dipersiapkan, dilakukan pemotongan spesimen uji sesuai dengan standar ASTM, setelah itu dilakukan pengukuran dimensi dari setiap spesimen uji yang ada. Berikut dimensi masing-masing spesimen uji yang ada.

Tabel 4.1  
Dimensi Spesimen Uji

Profil	Jumlah	Bagian	Nomor	Dimensi (mm)			Ao (mm <sup>2</sup> )
				Tebal	Lebar	Lo	
Plat	4	Flens	1	7.6	13	60	98.8
		Flens	2	7.8	13.3	61	103.74
		Web	1	7.75	40	198	310
		Web	2	7.75	40	198	310
Hollow	5	Flens	1	4.8	13	61	62.4
		Flens	2	4.95	13	61	64.35
		Flens	3	4.9	13	61	63.7
		Flens	4	4.8	12.8	62	61.44
		Web	1	5	40	189	200
WF	4	Flens	1	8	12.8	61	102.4
		Flens	2	8	12.8	60	102.4
		Web	1	5.8	40	195	232
		Web	2	5.8	40	192	232

Profil	Jumlah	Bagian	Nomor	Dimensi (mm)			Ao (mm <sup>2</sup> )
				Tebal	Lebar	Lo	
Siku	2	Flens	1	5.3	13.3	61	70.49
		Flens	2	5.2	13.2	60	68.64
Canal	4	Web	1	2.3	40	192	92
		Web	2	2.2	40	192	88
		Web	3	2.2	40	193	88
		Web	4	2.2	40	202	88
Jumlah	19						

## 4.2 Data Hasil Eksperimental

Dari hasil uji tarik baja menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*) dan dilengkapi dengan pemasangan *Strain Gauge* pada spesimen uji baja, didapatkan data-data sebagai berikut.

### 4.2.1 Elastisitas Baja

Nilai elastisitas baja didapatkan dari pembacaan *Strain Meter* yang dihubungkan dengan *Strain Gauge* pada benda uji. Diambil nilai pada ujung batas elastis dari grafik yang didapat. Berikut nilai elastisitas yang didapat dari masing-masing spesimen uji.

Tabel 4.2  
Nilai Elastisitas Baja

Benda Uji	Jumlah	Bagian	Nomor	E (N/mm <sup>2</sup> )	
				Tengah	Tepi
Plat	4	Flens	1	162087	-
		Flens	2	178996	-
		Web	1	192548	185903
		Web	2	190890	258065
Hollow	5	Flens	1	172186	-
		Flens	2	155845	-
		Flens	3	155251	-
		Flens	4	163953	-
		Web	1	145773	192901



Benda Uji	Jumlah	Bagian	Nomor	E (N/mm <sup>2</sup> )	
				Tengah	Tepi
WF	4	Flens	1	146067	-
		Flens	2	172843	-
		Web	1	211686	172201
		Web	2	199026	195185
Siku	2	Flens	1	136081	-
		Flens	2	123274	-
Canal	4	Web	1	199582	-
		Web	2	195133	-
		Web	3	140109	193515
		Web	4	188348	109718
Jumlah	19				

Berdasarkan SNI 03-1729-2002, modulus elastisitas dari baja sebesar 200000 Mpa. Dari hasil pengujian di atas, didapat nilai modulus elastisitas yang bervariasi. Namun, secara keseluruhan mendekati nilai teoritis sesuai standar SNI 03-1729-2.

#### 4.2.2 Kuat Leleh dan Kuat Tarik Baja

Nilai kuat leleh dan kuat tarik baja didapatkan dari pembacaan grafik hasil uji tarik menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*). Berikut nilai kuat leleh dan kuat tarik dari masing-masing spesimen uji.

Tabel 4.3

Kuat Leleh dan Kuat Tarik Baja

Profil	Jumlah	Bagian	Nomor	Pengujian Tarik		Hasil Pengujian	
				P leleh (kN)	P tarik (kN)	Kuat Leleh (N/mm <sup>2</sup> )	Kuat Tarik (N/mm <sup>2</sup> )
Plat	4	Flens	1	29	42	293,522	425,101
		Flens	2	34	46	327,742	443,416
		Web	1	94	148	303,226	477,419
		Web	2	95	143	306,452	461,290

Profil	Jumlah	Bagian	Nomor	Pengujian Tarik		Hasil Pengujian	
				P leleh (kN)	P tarik (kN)	Kuat Leleh (N/mm <sup>2</sup> )	Kuat Tarik (N/mm <sup>2</sup> )
Hollow	5	Flens	1	19,5	23	312,500	368,590
		Flens	2	21,5	23,5	334,110	365,190
		Flens	3	23	25	361,068	392,465
		Flens	4	20	23	325,521	374,349
		Web	1	70	85	350,000	425,000
WF	4	Flens	1	38	45,5	371,094	444,336
		Flens	2	38	46	371,094	449,219
		Web	1	105	121	452,586	521,552
		Web	2	96	115	413,793	495,690
Siku	2	Flens	1	22	35	312,101	496,524
		Flens	2	26	37	378,788	539,044
Canal	4	Web	1	20	27	217,391	293,478
		Web	2	20	28	227,273	318,182
		Web	3	21	28	238,636	318,182
		Web	4	21,5	29	244,318	329,545
Jumlah	19						

Berdasarkan SNI 03-1729-2002, material baja struktural dikelompokkan menjadi beberapa mutu sebagai berikut.

Tabel 4.4  
Mutu Baja

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan leleh minimum, $f_y$ (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber: SNI 03-1729-2002

Berdasarkan Tabel 4.4 di atas, dapat diketahui bahwa profil plat, hollow, WF, dan siku termasuk dalam mutu baja BJ 41 dan profil canal termasuk dalam mutu BJ 37, walaupun

dari data pada Tabel 4.3 terlihat bahwa beberapa profil tidak mencapai nilai tegangan putus minimum dan tegangan leleh minimum. Hal ini dikarenakan profil yang digunakan sebagai spesimen uji adalah bukan profil baru, melainkan profil yang pernah dipakai di lapangan sehingga kekuatan dari profil sudah berkurang karena berbagai faktor seperti korosi, beban yang pernah diterima, dan lain sebagainya.

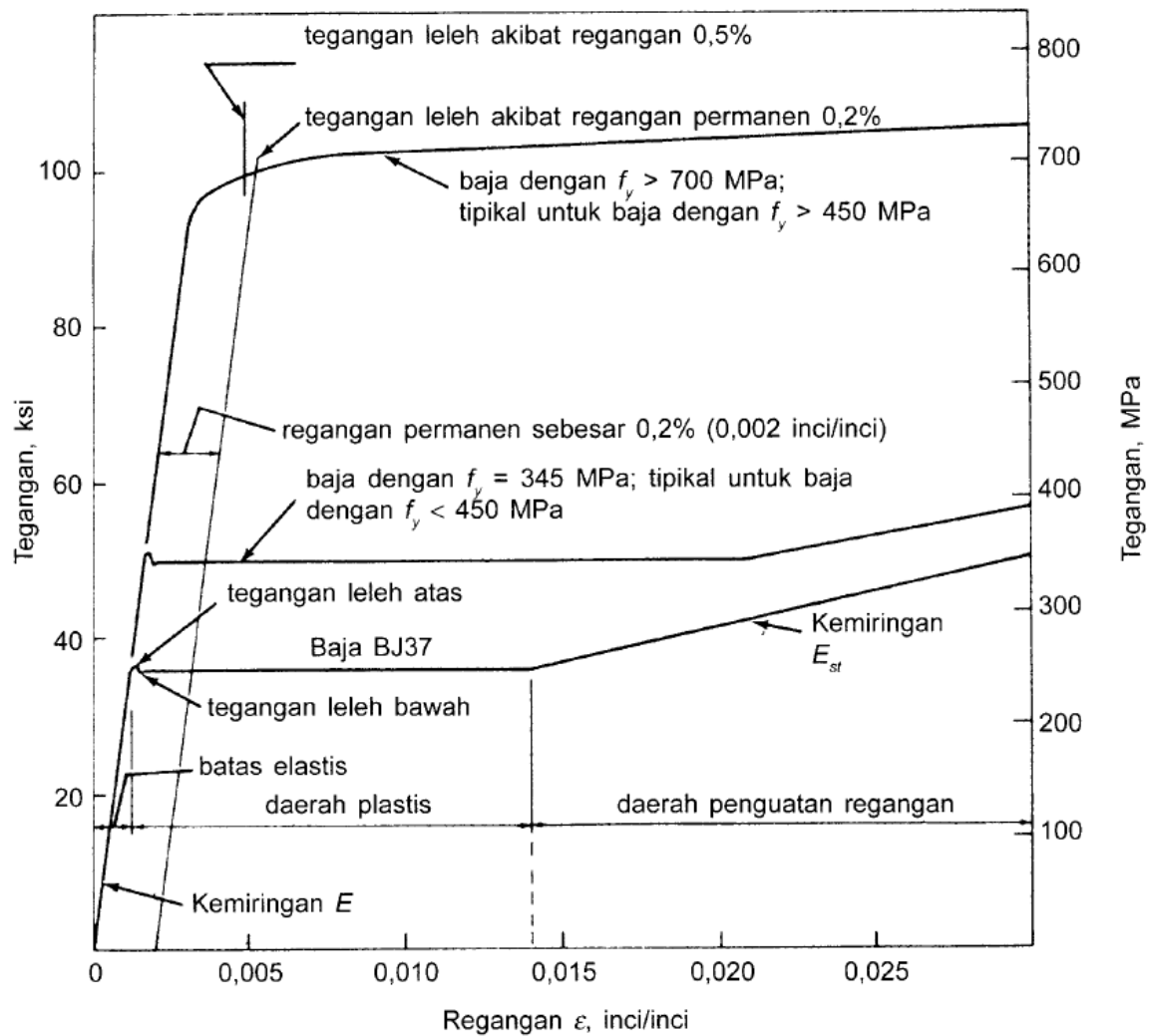


*Gambar 4.1* Profil Baja yang Digunakan untuk Spesimen Uji

Data spesimen uji mengenai mutu baja dari hasil uji eksperimental ini selanjutnya akan digunakan sebagai mutu teoritis yang digunakan untuk analisis lebih lanjut menggunakan *software* ABAQUS.

### 4.3 Hubungan Tegangan-Regangan Tipikal

Dari data kuat leleh dan kuat tarik hasil eksperimental, digunakan dua mutu baja teoritis yaitu BJ 37 dan BJ 41 untuk analisis di ABAQUS. Untuk profil dengan mutu BJ 37 menggunakan grafik “Baja BJ 37”. Sedangkan profil dengan mutu BJ 41 menggunakan grafik “baja dengan  $f_y = 345$  Mpa; tipikal untuk baja dengan  $f_y < 450$  MPa” seperti terlihat pada *Gambar 4.2* berikut.



Gambar 4.2 Hubungan Tegangan-Regangan Tipikal

Sumber: Salmon & Johnson, Steel Structures Design and Behavior, 4<sup>th</sup> ed.

Grafik tegangan-regangan di atas merupakan grafik dari nilai *engineering stress* dan *engineering strain*, sehingga untuk *input* data tegangan-regangan pada ABAQUS masih diperlukan konversi ke *true stress* dan *true strain*. Berikut merupakan data yang diinput ke ABAQUS untuk data tegangan-regangan teoritis berdasarkan Gambar 4.2 di atas.

Tabel 4.5

*True Stress dan True Strain*

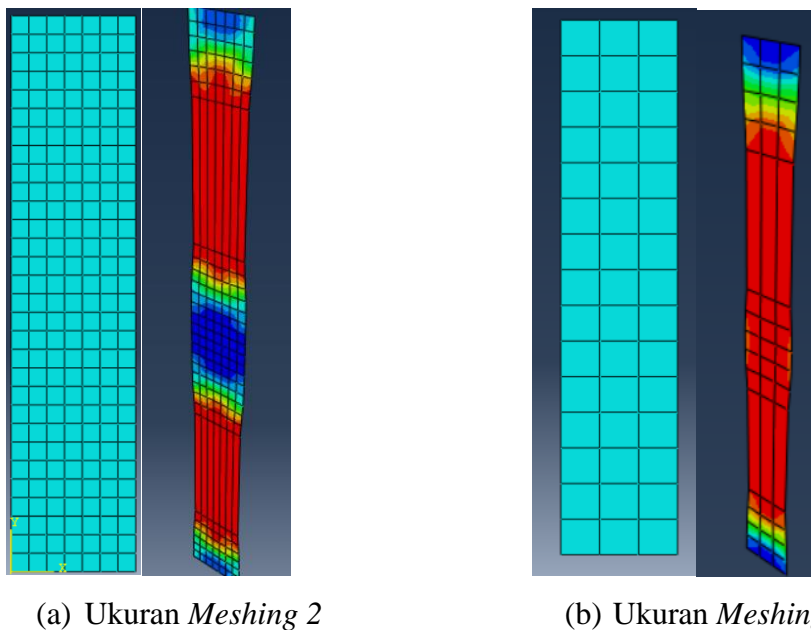
Mutu Baja	Regangan	True Strain	Tegangan	True Stress
BJ 37	0,014	0,013903	240	243,36
	0,03	0,029559	350	360,5
BJ 41	0,021	0,020783	345	352,245
	0,03	0,029559	390	401,7

#### 4.4 Analisis Software ABAQUS

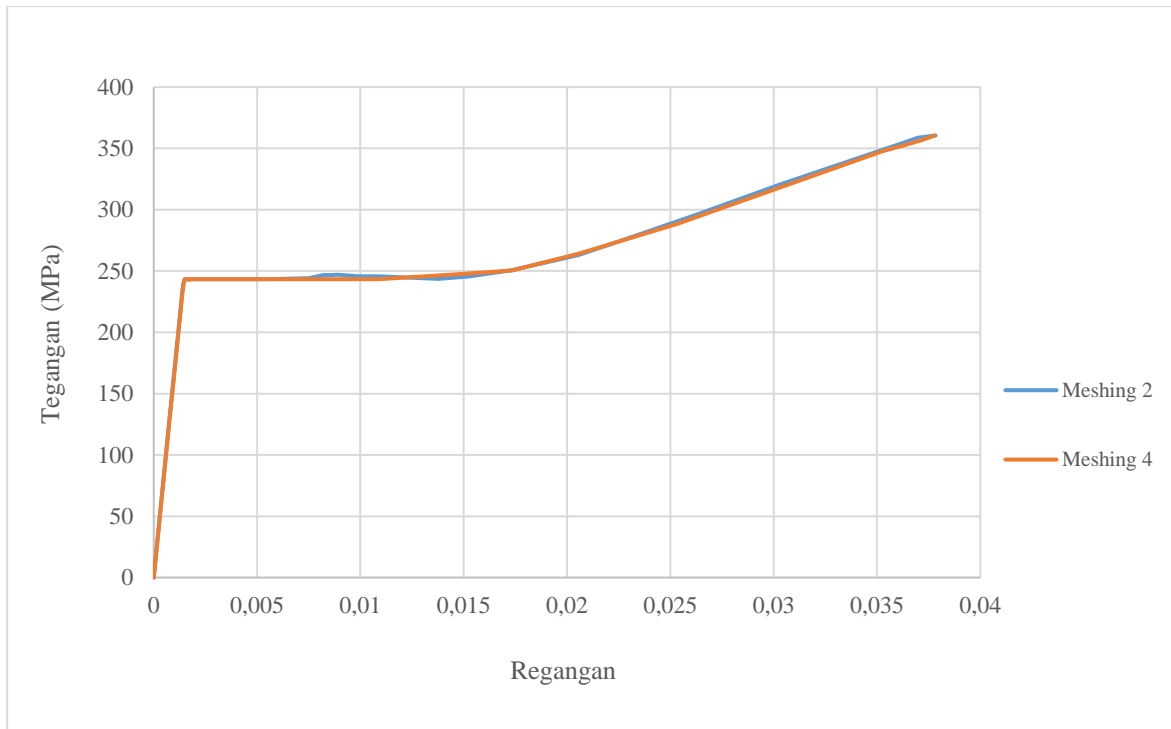
Sebelum melakukan analisis untuk semua spesimen uji yang telah dilakukan pengujian eksperimen, perlu dilakukan beberapa penelitian pada ABAQUS meliputi pengaruh *increment size*, ukuran *meshing*, dan perbedaan tegangan pada tengah benda uji serta pada bagian tepi benda uji untuk mengetahui seberapa pengaruh hal-hal tersebut dengan hasil yang ditampilkan dari analisis ABAQUS.

##### 4.4.1 Pengaruh Ukuran *Meshing*

Pada kasus ini digunakan profil siku bagian flens untuk mengetahui perbedaan hasil dari analisis ABAQUS. Digunakan *Approximate global size* 2 dan 4.



Gambar 4.3 Perbandingan Distribusi Tegangan-Regangan dengan Ukuran *Meshing* 2 dan 4



Gambar 4.4 Perbandingan Tegangan-Regangan Baja dengan Ukuran *Meshing* 2 dan 4

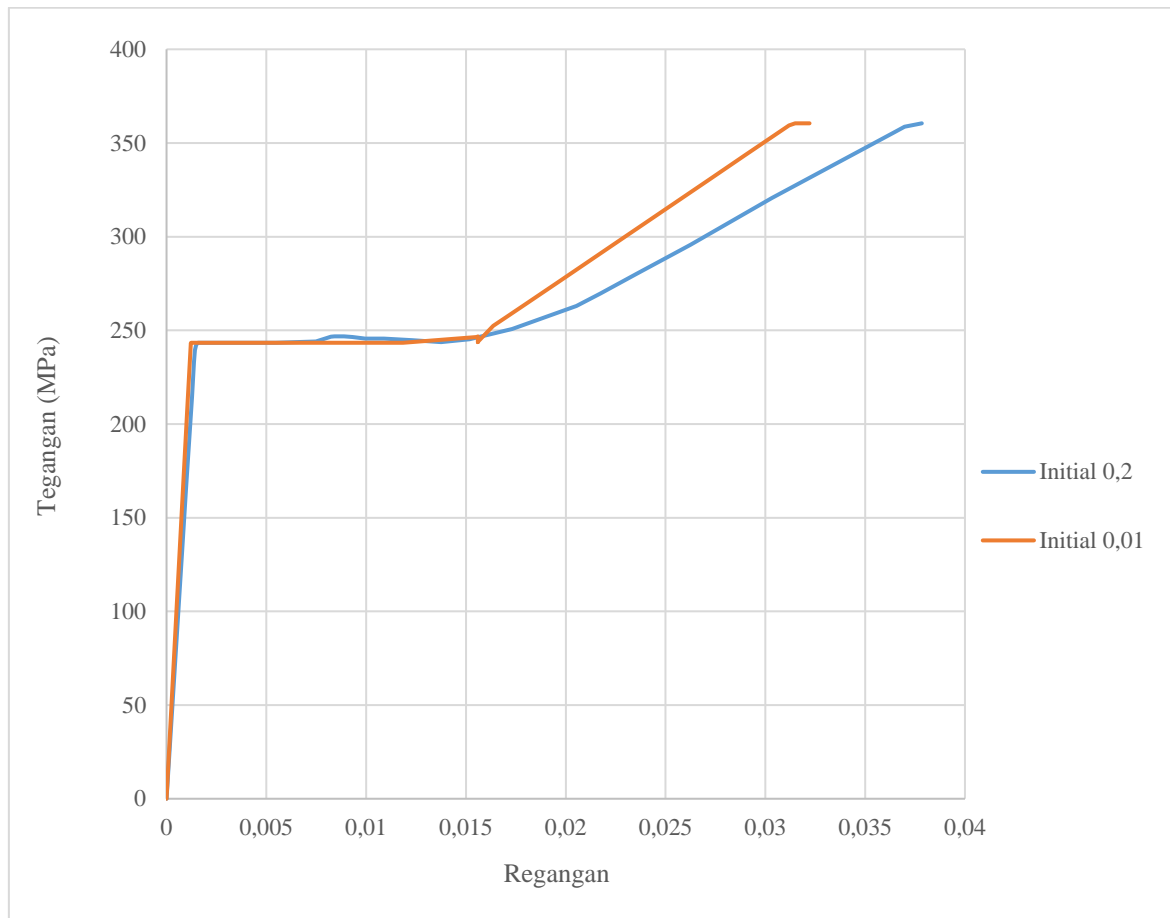


Gambar 4.5 Spesimen Uji Hasil Uji Tarik

Dari grafik tegangan-regangan pada *Gambar 4.4* dapat dilihat bahwa perbedaan ukuran *meshing* tidak terlalu berpengaruh terhadap hasil yang ditampilkan. Namun, pada *Gambar 4.3* yang merupakan gambar distribusi tegangan-regangan hasil analisis ABAQUS sangat terlihat bahwa semakin kecil ukuran *meshing* maka semakin teliti hasil distribusi tegangan-regangan yang ditampilkan. Selain itu, dapat dilihat pada *Gambar 4.5* bahwa bagian yang putus terdapat di daerah  $\pm \frac{1}{4}$  bentang. Dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran *meshing* semakin mendekati kondisi sesungguhnya. Sehingga, dalam penelitian ini akan digunakan ukuran *meshing* 2.

#### 4.4.2 Pengaruh *Increment Size*

Pada kasus ini digunakan profil siku bagian flens untuk mengetahui perbedaan hasil dari analisis ABAQUS. Digunakan *increment size* dengan *initial* 0,01 dan 0,2.



Gambar 4.6 Perbandingan Tegangan-Regangan Baja dengan *Increment Size Initial* 0,01 dan 0,2 dari Hasil Analisis ABAQUS

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin kecil *increment size* semakin cepat fase leleh menuju fase *strain hardening*. Sehingga dalam penelitian ini digunakan *increment size initial* 0,01 karena pemberian beban pada alat UTM yang cepat akan memperpendek fase leleh menuju fase *strain hardening*, dan kondisi ini lebih mendekati pada pengujian sebenarnya yang fase leleh menuju fase *strain hardening* berlangsung dengan cepat<sup>1</sup>.

#### 4.4.3 Pengaruh Penggunaan *Necking* pada Spesimen Uji

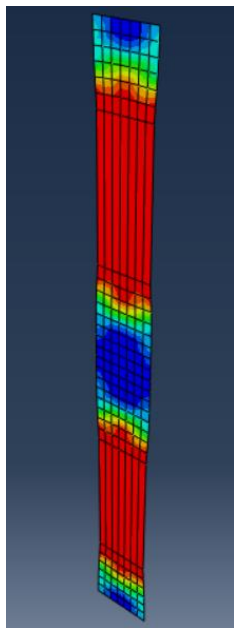
Kedalaman pemasangan spesimen uji pada bagian penjepit UTM tidak terlalu terkontrol, hal ini dikarenakan pengaruh ketelitian dari laboran saat pemasangan spesimen uji.

<sup>1</sup> Data grafik hasil UTM terlampir

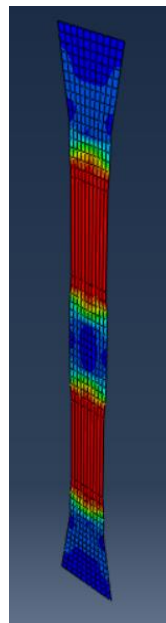


Gambar 4.7 Pemasangan Spesimen Uji Tarik pada UTM

Dapat dilihat pada gambar di atas bahwa *necking* bagian bawah terjepit tersisa sedikit dan *necking* pada bagian atas terjepit tersisa seluruhnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis pengaruh penggunaan *necking* pada spesimen uji terhadap hasil tegangan-regangan yang didapatkan. Pada kasus ini digunakan profil siku 2 flens untuk perbandingan.



(a) Tanpa *Necking*

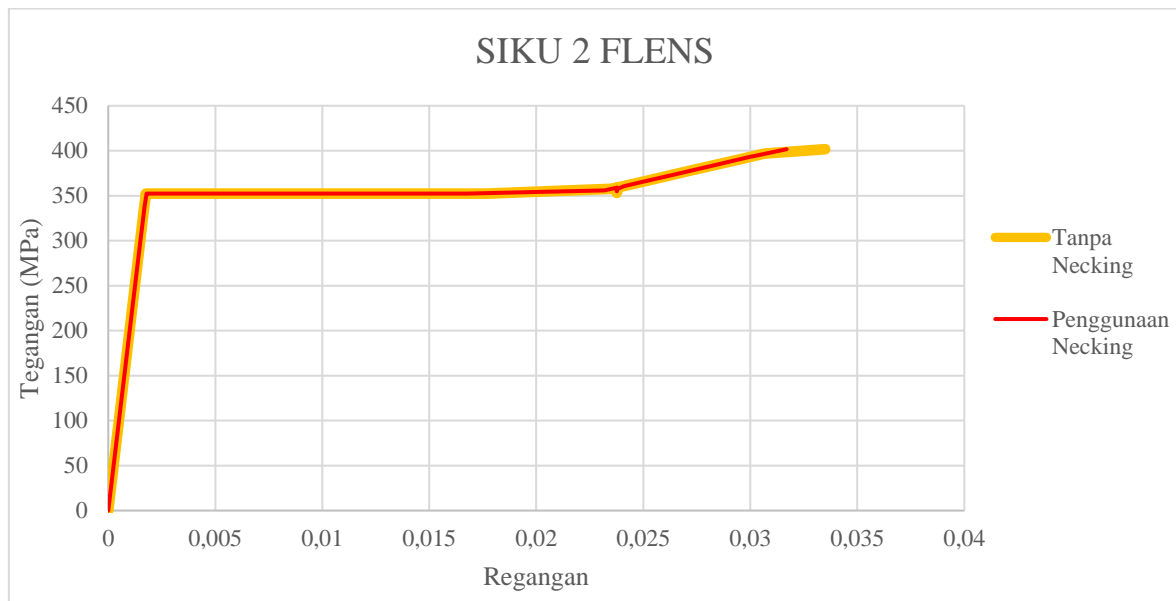


(b) Penggunaan *Necking*

Gambar 4.8 Perbandingan Distribusi Tegangan-Regangan Tanpa *Necking* dan Penggunaan *Necking*



Dari 2 kasus pada gambar di atas didapatkan diagram tegangan-regangan maksimum sebagai berikut.



*Gambar 4.9* Perbandingan Tegangan-Regangan Baja Tanpa *Necking* dan Penggunaan *Necking* dari Hasil Analisis ABAQUS

Dapat dilihat bahwa diagram tegangan-regangan yang dihasilkan sama, namun penggunaan *necking* memperkecil regangan yang ada. Oleh karena itu, selanjutnya akan digunakan spesimen uji tanpa *necking* pada penelitian ini.

#### 4.4.4 Perbedaan Tegangan-Regangan Bagian Tengah dan Tepi Benda Uji

Pada kasus ini beberapa profil dengan dimensi spesimen uji yang besar (bagian Web) dipasang 2 *strain gauge* yaitu pada bagian tengah dan tepi spesimen uji. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui perbedaan tegangan-regangan yang terjadi pada bagian spesimen uji. Digunakan profil Hollow dan profil WF untuk percobaan ini.

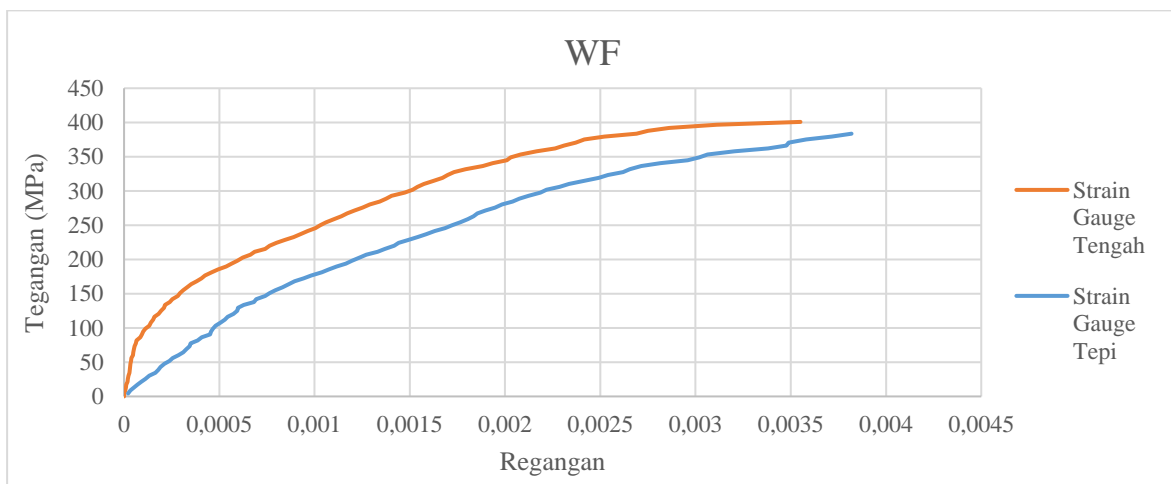


*Gambar 4.10* Pemasangan 2 *Strain Gauge* pada 1 Spesimen Uji

Dari pemasangan 2 *strain gauge* seperti pada gambar di atas, didapat data seperti grafik di bawah ini.



Gambar 4.11 Perbandingan Tegangan-Regangan di Tengah dan Tepi Benda Uji Profil Hollow



Gambar 4.12 Perbandingan Tegangan-Regangan di Tengah dan Tepi Benda Uji Profil WF

Dari 2 grafik di atas dapat dilihat bahwa pada bagian tepi tegangan maksimum yang terjadi lebih kecil daripada tegangan pada bagian tengah benda uji. Sehingga untuk analisis selanjutnya pada ABAQUS tidak lagi digunakan 2 *strain gauge*, hanya digunakan *strain gauge* pada bagian tengah (bagian tegangan maksimum).

#### 4.5 Hasil Analisis dengan Software ABAQUS

Dari hasil analisis dengan *software* ABAQUS yang didapat, berikut merupakan rekapitulasi *input* yang digunakan.

Tabel 4.6  
*Meshing dan Increment Size*

Profil	Jumlah	Bagian	Nomor	Mesh	Maximum Number of Increments	Increment Size		
						Initial	Minimum	Maximum
Plat	4	Flens	1	2	100000	0.01	0.00001	1
		Flens	2	2	100000	0.01	0.00001	1
		Web	1	5	100000	0.01	0.00001	1
		Web	2	5	100000	0.01	0.00001	1
Hollow	5	Flens	1	2	100000	0.01	0.00001	1
		Flens	2	2	100000	0.01	0.00001	1
		Flens	3	2	100000	0.01	0.00001	1
		Flens	4	2	100000	0.01	0.00001	1
		Web	1	5	100000	0.01	0.00001	1
WF	4	Flens	1	2	100000	0.01	0.00001	1
		Flens	2	2	100000	0.01	0.00001	1
		Web	1	5	100000	0.01	0.00001	1
		Web	2	5	100000	0.01	0.00001	1
Siku	2	Flens	1	2	100000	0.01	0.00001	1
		Flens	2	2	100000	0.01	0.00001	1
Canal	4	Web	1	5	100000	0.01	0.00001	1
		Web	2	5	100000	0.01	0.00001	1
		Web	3	5	100000	0.01	0.00001	1
		Web	4	5	100000	0.01	0.00001	1
Jumlah	19							

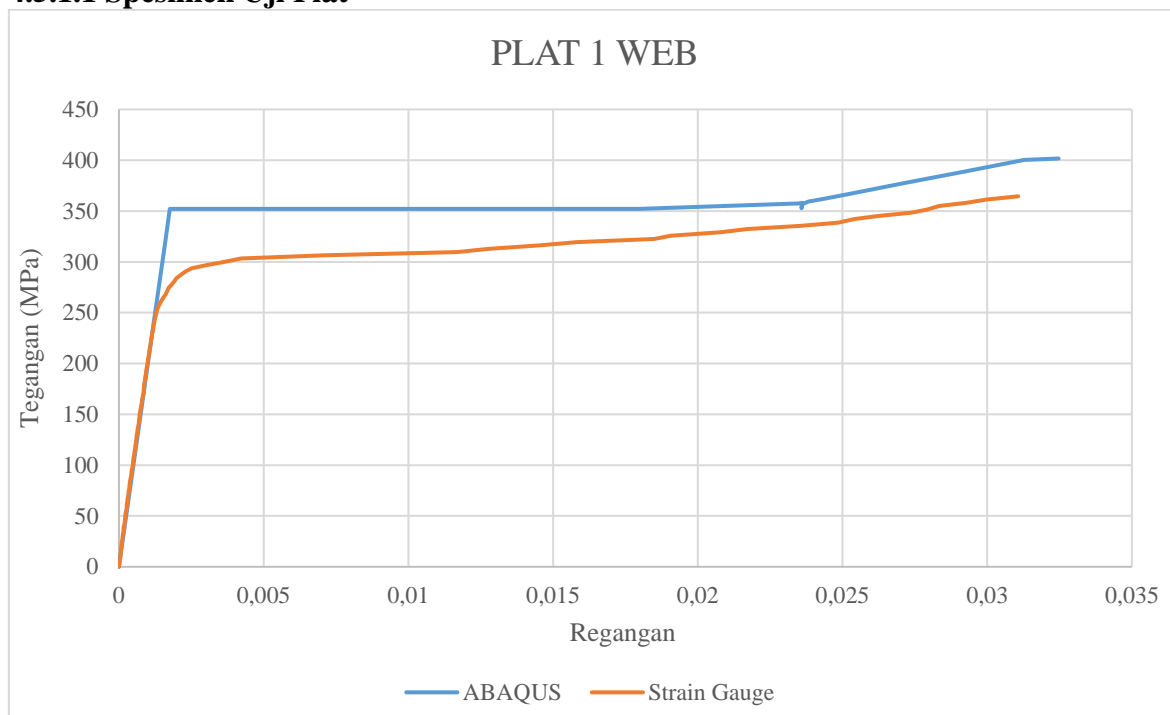
Tabel 4.7

*Displacement Control*

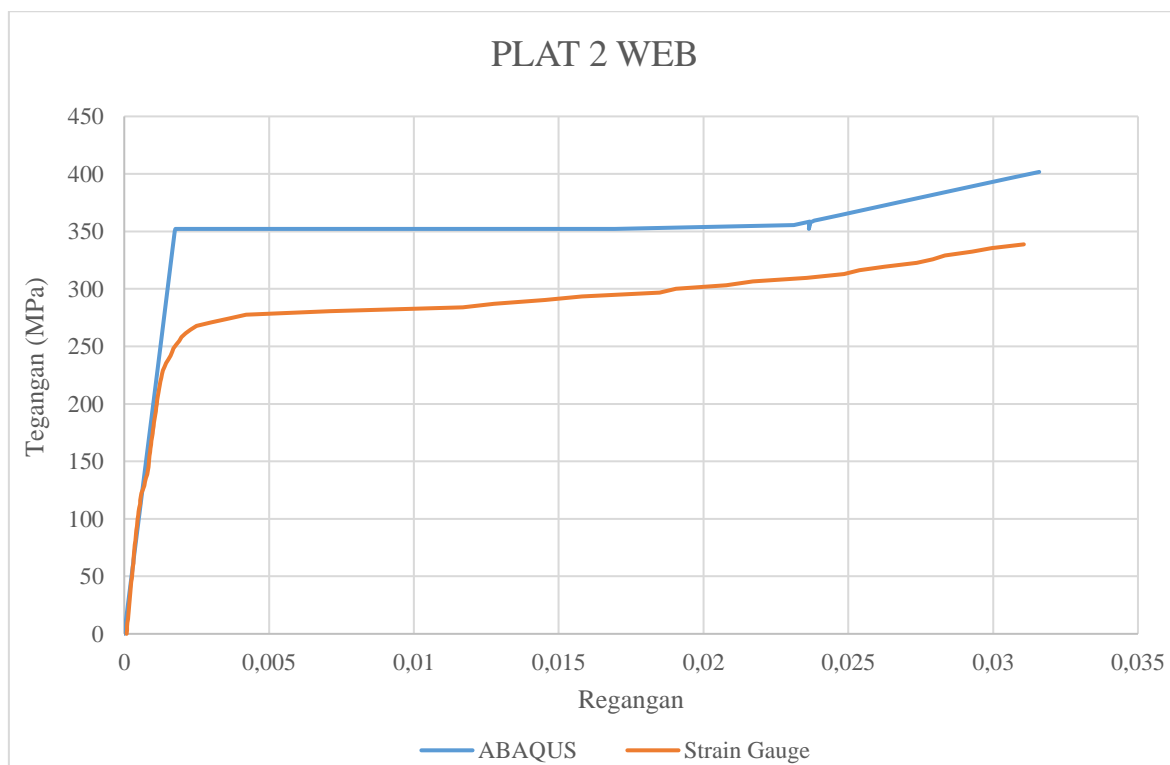
<b>Profil</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Bagian</b>	<b>Nomor</b>	<b><i>Displacement Control (mm)</i></b>
Plat	4	Flens	1	80
		Flens	2	80
		Web	1	90
		Web	2	90
Hollow	5	Flens	1	30
		Flens	2	30
		Flens	3	30
		Flens	4	30
		Web	1	80
WF	4	Flens	1	50
		Flens	2	50
		Web	1	80
		Web	2	80
Siku	2	Flens	1	50
		Flens	2	50
Canal	4	Web	1	80
		Web	2	80
		Web	3	80
		Web	4	80
Jumlah	19			

#### 4.5.1 Analisis Diagram Tegangan-Regangan

##### 4.5.1.1 Spesimen Uji Plat



Gambar 4.13 Diagram Tegangan-Regangan Plat 1 Web



Gambar 4.14 Diagram Tegangan-Regangan Plat 2 Web



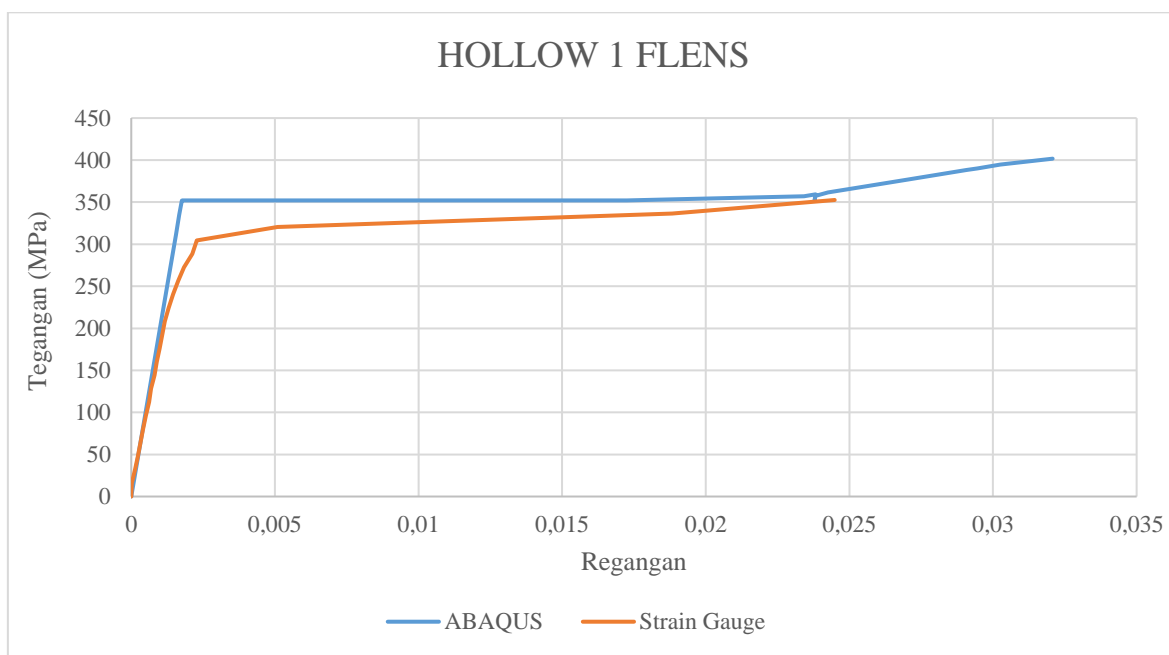
Gambar 4.15 Hasil Uji Tarik Plat 1 Web



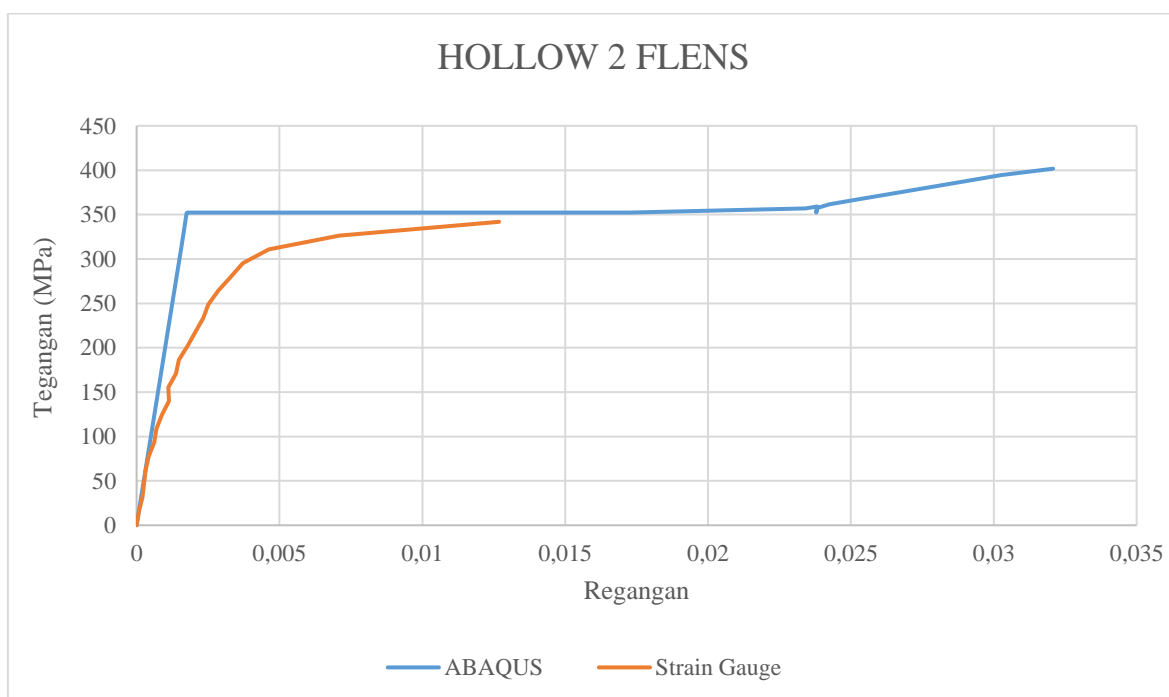
Gambar 4.16 Hasil Uji Tarik Plat 2 Web

Dari kedua grafik di atas, dapat dilihat bahwa perbedaan antara hasil teoritis menggunakan ABAQUS dan hasil *strain gauge* memiliki perbedaan yang serupa, dimana keduanya memiliki regangan total yang hampir sama namun nilai tegangan pada daerah leleh dan tegangan maksimum yang terjadi memiliki perbedaan yang cukup jauh. Dapat dilihat pada Tabel 4.3 yang menunjukkan bahwa nilai tegangan leleh yang didapat dari hasil eksperimental menggunakan UTM memang lebih kecil dari nilai teoritis pada Tabel 4.5, namun memiliki tegangan maksimum yang melebihi nilai teoritis. Sedangkan pada kedua grafik di atas bahwa tegangan maksimum dari *strain gauge* pun lebih kecil dari nilai teoritis. Hal ini dapat dikatakan bahwa nilai akhir dari *strain gauge* hingga spesimen uji putus tidak terbaca dengan baik, disebabkan banyak faktor seperti *strain gauge* yang lepas karena spesimen yang panas ketika ditarik, *strain gauge* yang sudah rusak sebelum beban puncak terjadi pada benda uji, sambungan *strain gauge* yang mengalami konsleting karena menempel baja, dan lain sebagainya.

#### 4.5.1.2 Spesimen Uji Profil Hollow



Gambar 4.17 Diagram Tegangan-Regangan Hollow 1 Flens



Gambar 4.18 Diagram Tegangan-Regangan Hollow 2 Flens



Gambar 4.19 Hasil Uji Tarik Hollow 1 Flens



Gambar 4.20 Hasil Uji Tarik Hollow 2 Flens

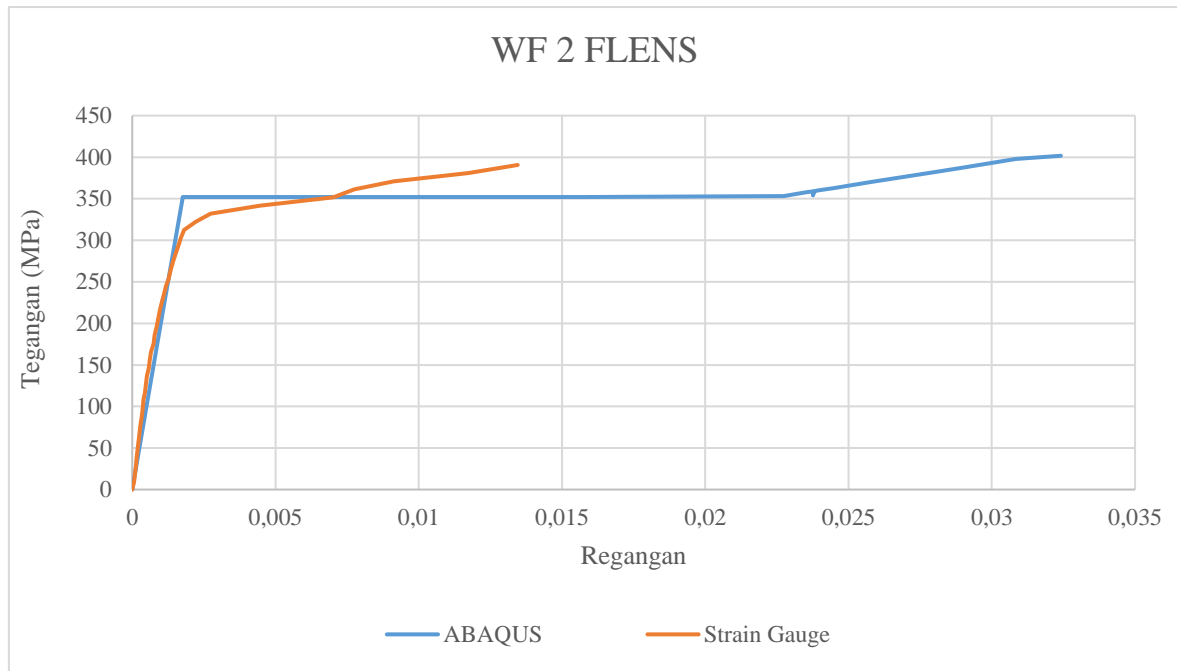
Dapat dilihat pada Tabel 4.3 bahwa hasil uji eksperimental menggunakan UTM menunjukkan bahwa nilai tegangan leleh dan tegangan maksimum spesimen uji memang kurang dari nilai teoritis pada tabel 4.5. Hal ini serupa juga dengan grafik di atas, dimana tegangan maksimum dari hasil *strain gauge* kurang dari hasil analisis ABAQUS secara teoritis. Hasil tegangan maksimum dari *strain gauge* hampir sama untuk kedua grafik di atas, namun regangannya memiliki perbedaan cukup jauh, hal ini dikarenakan pada hasil eksperimental menggunakan UTM untuk profil hollow 1 flens memiliki perpanjangan total yang lebih besar dengan beban yang lebih kecil dibandingkan dengan profil hollow 2 flens.<sup>2</sup> Selain itu, pada Gambar 4.17 terlihat bahwa bagian yang putus jauh dari bagian tengah, sedangkan regangan yang terbaca pada *strain gauge* adalah regangan yang terjadi pada tengah bentang, sehingga nilai regangnya kecil.

---

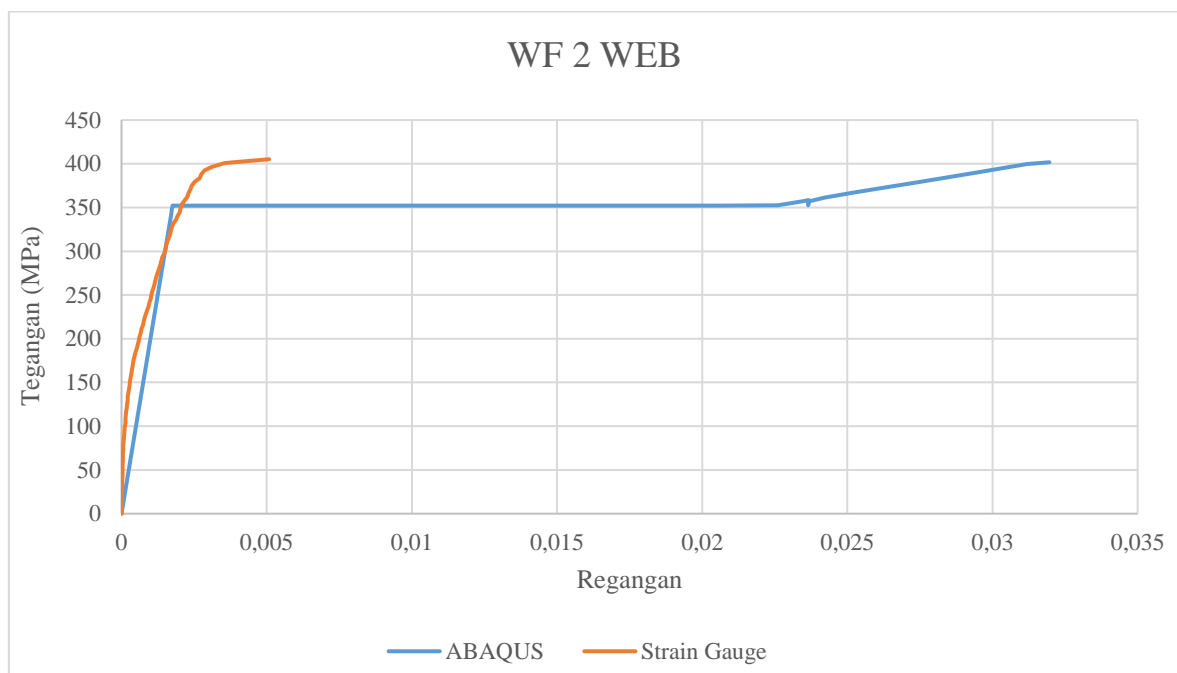
<sup>2</sup> Data hasil eksperimental terlampir



#### 4.5.1.3 Spesimen Uji Profil WF



Gambar 4.21 Diagram Tegangan-Regangan WF 2 Flens



Gambar 4.22 Diagram Tegangan-Regangan WF 2 Web



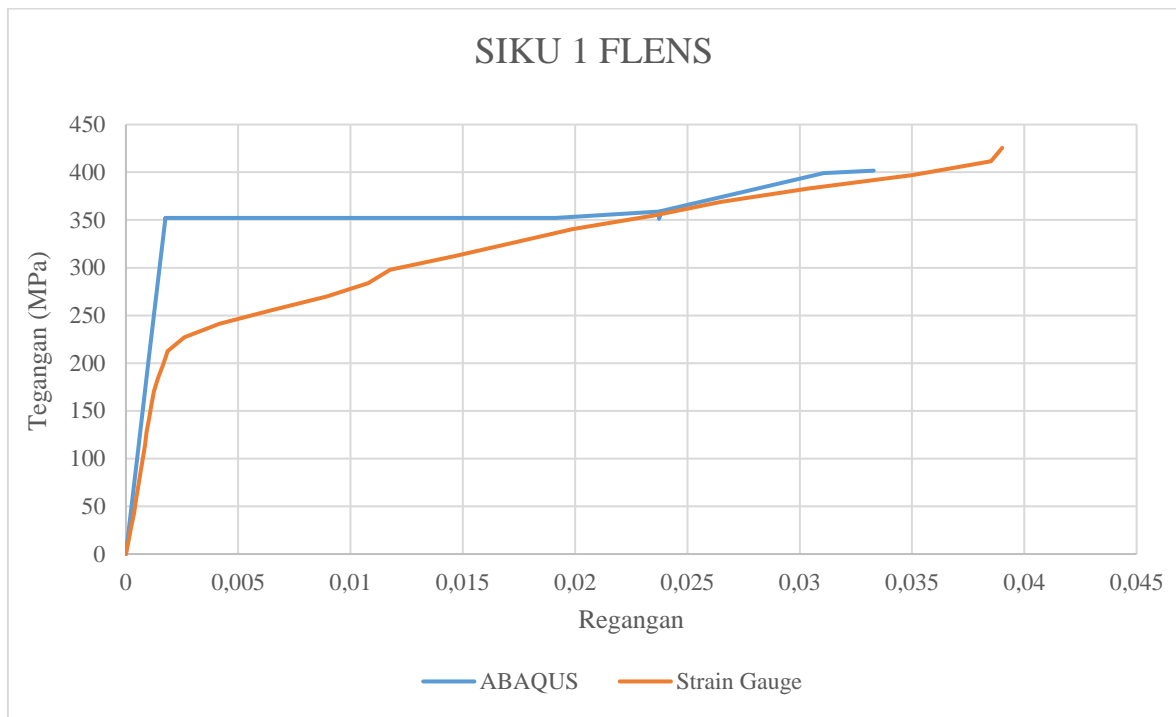
Gambar 4.23 Hasil Uji Tarik WF 2 Flens



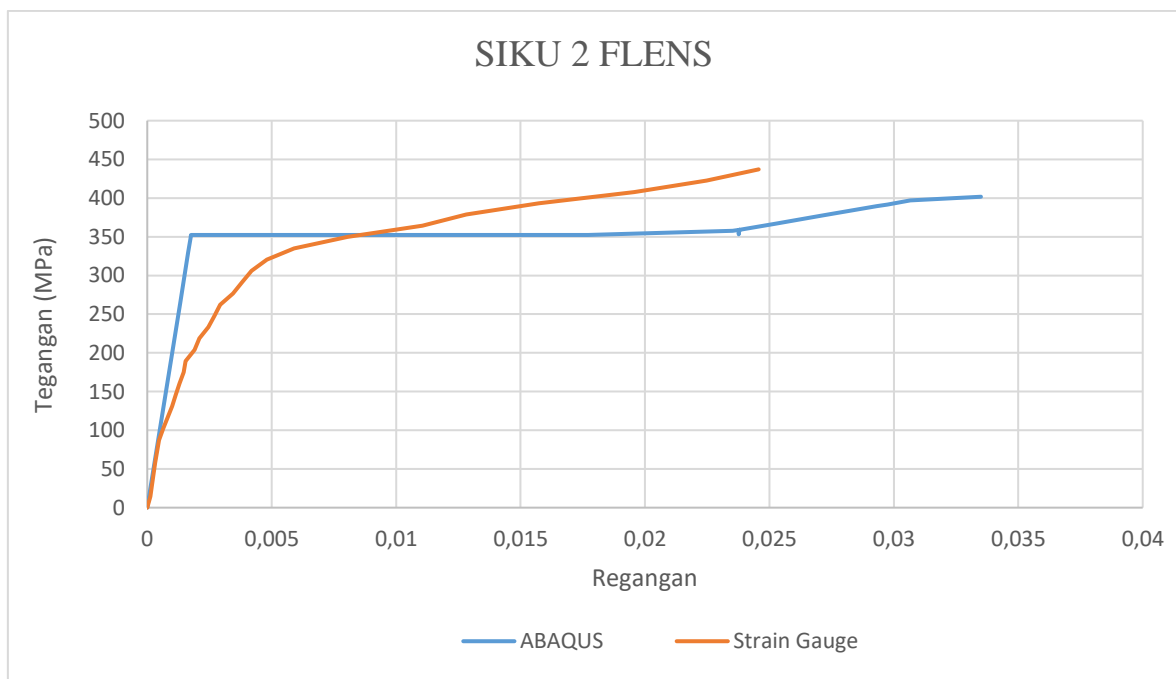
Gambar 4.24 Hasil Uji Tarik WF 2 Web

Perbedaan yang terjadi pada kedua grafik di atas antara hasil analisis ABAQUS dengan *strain gauge* sangatlah terlihat. Tegangan maksimum yang terjadi sama, namun regangan yang terjadi sangatlah berbeda. Hal ini dapat dilihat pada gambar bahwa bagian yang putus adalah mendekati ujung, sedangkan *strain gauge* dipasang pada tengah spesimen uji. Hal ini menyebabkan pembacaan regangan sangatlah kecil nilainya pada bagian tengah bentang, sedangkan teoritis pada ABAQUS mengambil nilai tegangan maksimum yaitu terletak  $\pm \frac{1}{4}$  bentang yang mendekati kondisi sebenarnya dimana bagian yang putus pada bagian tersebut menunjukkan nilai tegangan-regangan terbesar.

#### 4.5.1.4 Spesimen Uji Profil Siku



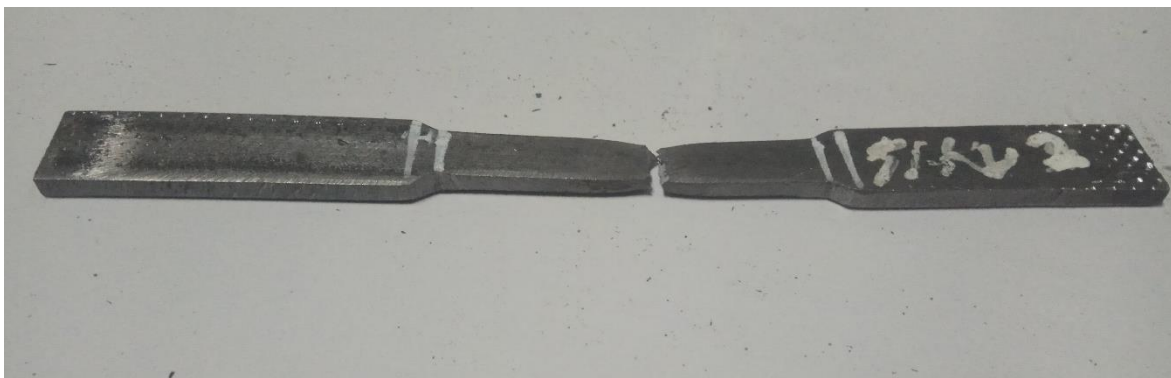
Gambar 4.25 Diagram Tegangan-Regangan Siku 1 Flens



Gambar 4.26 Diagram Tegangan-Regangan Siku 2 Flens



Gambar 4.27 Hasil Uji Tarik 1 Siku Flens



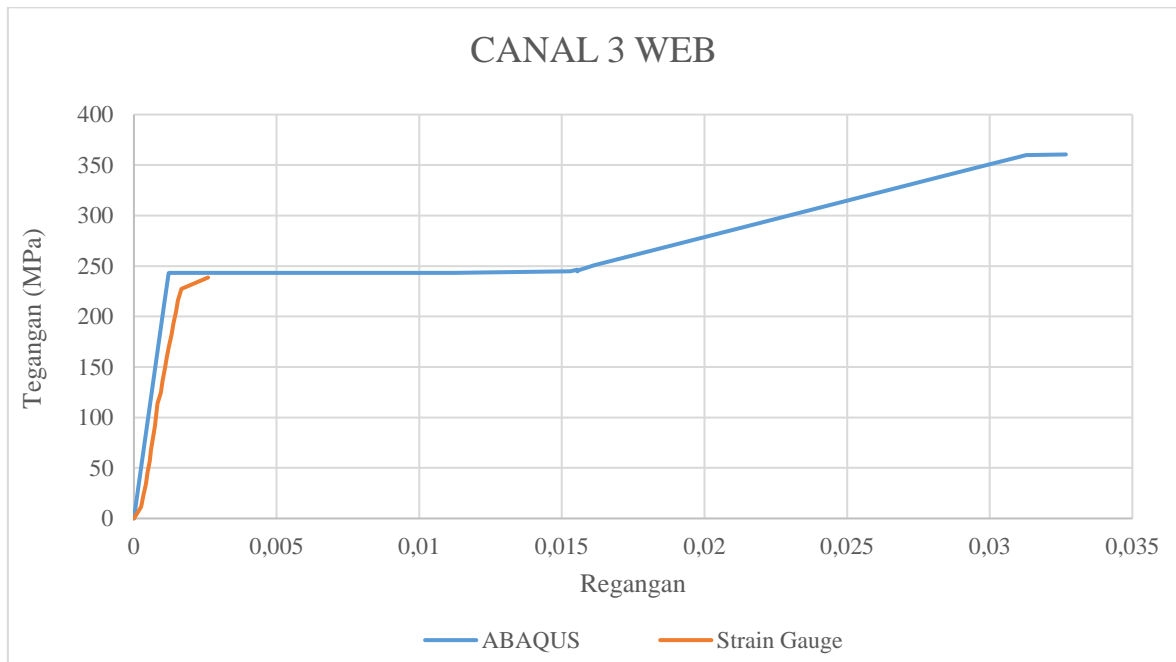
Gambar 4.28 Hasil Uji Tarik Siku 2 Flens

Seperti diketahui pada Tabel 4.3, bahwa profil ini memiliki tegangan maksimum yang besar melebihi nilai tegangan teoritis. Hal ini identik dengan kedua grafik di atas bahwa nilai tegangan maksimum dari *strain gauge* melebihi tegangan maksimum nilai teoritis dari ABAQUS, walaupun dengan nilai regangan yang terjadi pada profil siku 2 flens lebih kecil. Hal ini disebabkan karena pada uji eksperimental dengan UTM menunjukkan bahwa dengan perpanjangan total yang sama, profil siku 2 flens mampu menahan beban lebih besar.<sup>3</sup>

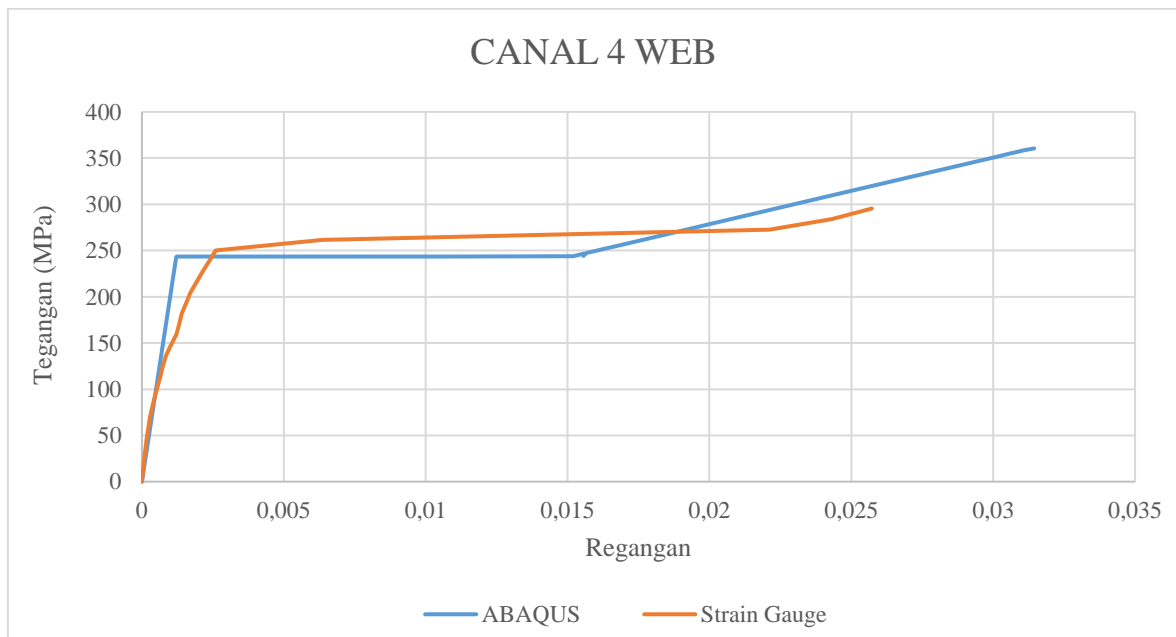
---

<sup>3</sup> Data eksperimental dengan UTM terlampir

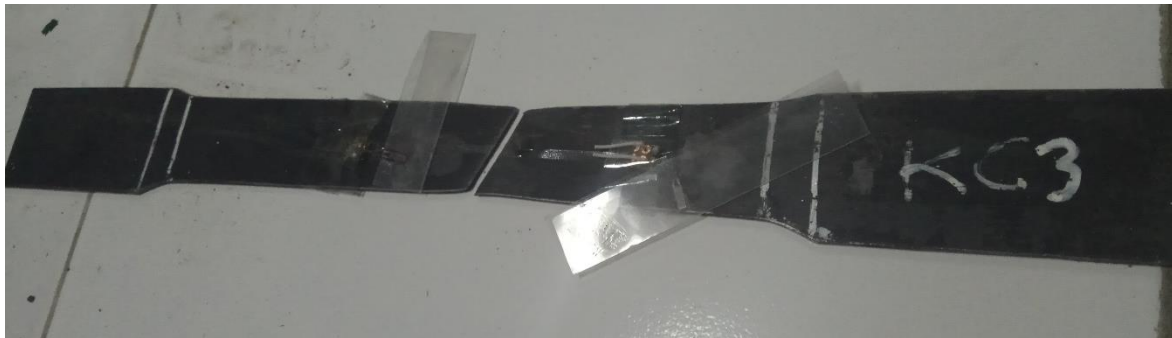
#### 4.5.1.5 Spesimen Uji Profil Canal



Gambar 4.29 Diagram Tegangan-Regangan Canal 3 Web



Gambar 4.30 Diagram Tegangan-Regangan Canal 4 Web



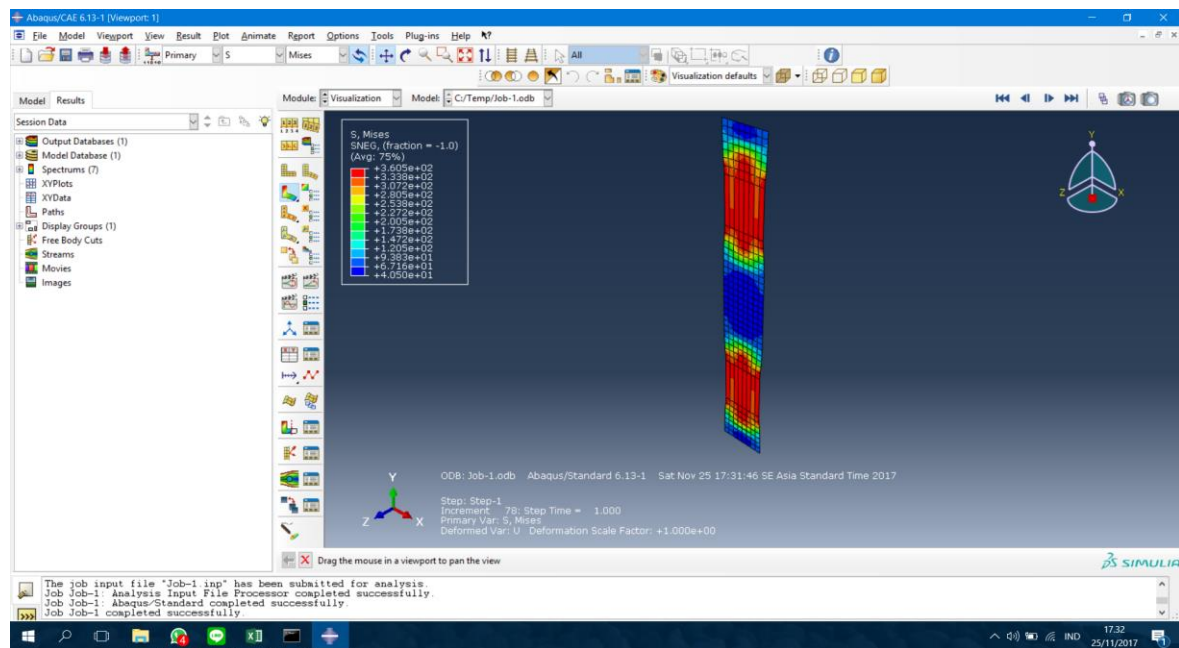
Gambar 4.31 Hasil uji Tarik Canal 3 Web



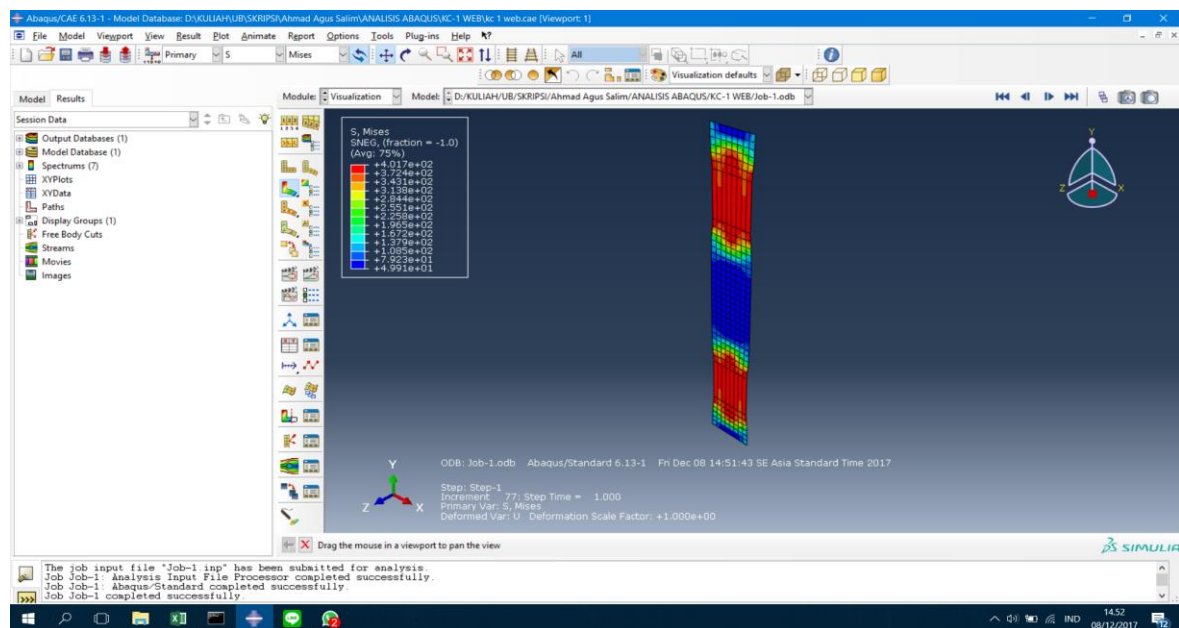
Gambar 4.32 Hasil uji Tarik Canal 4 Web

Perbedaan yang sangat terlihat pada kedua grafik di atas. Namun, pada profil canal 4 web selisih antara analisis ABAQUS dan *strain gauge* tidak terlalu jauh. Dapat dilihat pada Tabel 4.3 bahwa profil canal memang memiliki mutu di bawah nilai mutu teoritis, sehingga pada profil canal 4 web pun nilai tegangan maksimum yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan nilai teoritis dari ABAQUS. Untuk perbedaan yang cukup signifikan terjadi pada profil canal 3 web disebabkan banyak faktor seperti *strain gauge* yang lepas karena spesimen yang panas ketika ditarik, *strain gauge* yang sudah rusak sebelum beban puncak terjadi pada benda uji, sambungan *strain gauge* yang mengalami konsleting karena menempel baja, dan lain sebagainya. Penyebab yang lain adalah pada canal 3 web *strain gauge* terpasang jauh dari bagian yang putus, sehingga regangan yang terjadi pada bagian tersebut kecil.

## 4.5.2 Analisis Distribusi Tegangan-Regangan

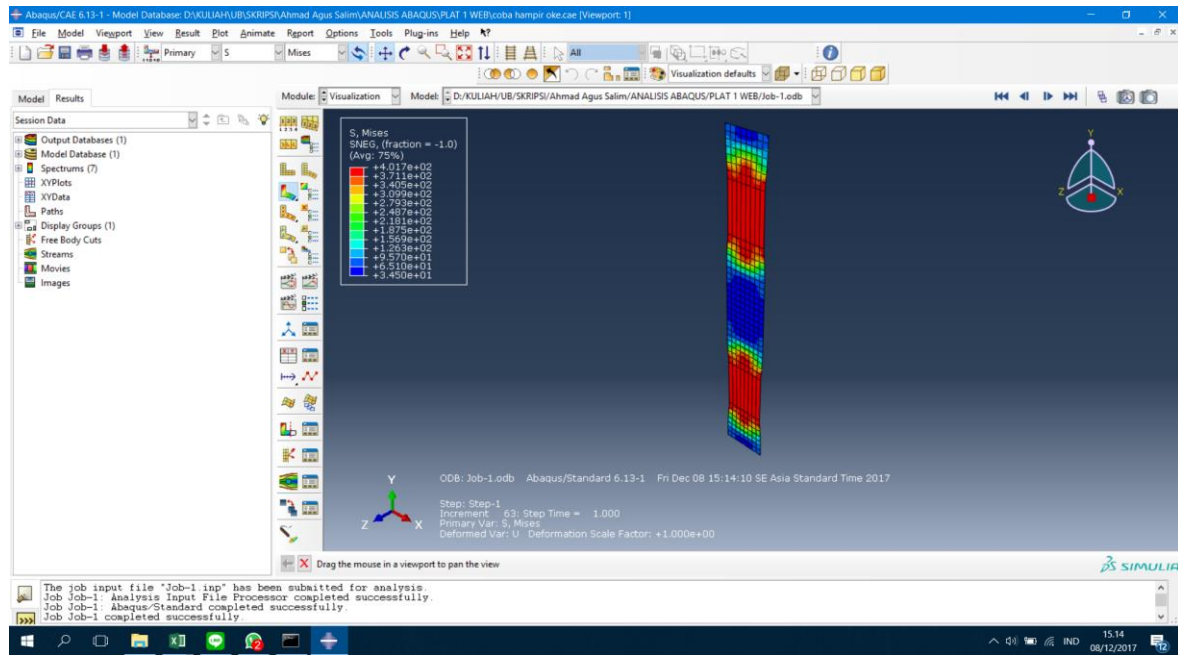


Gambar 4.33 Distribusi Tegangan-Regangan Hollow 1 Web

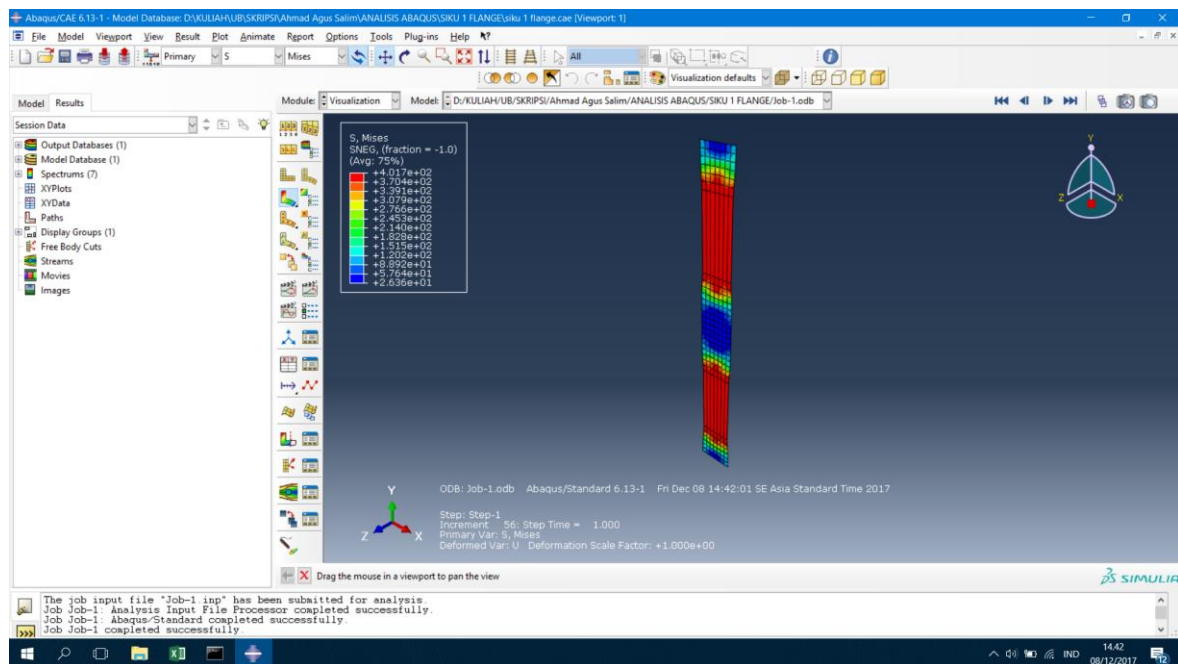


Gambar 4.34 Distribusi Tegangan-Regangan pada Canal 1 Web



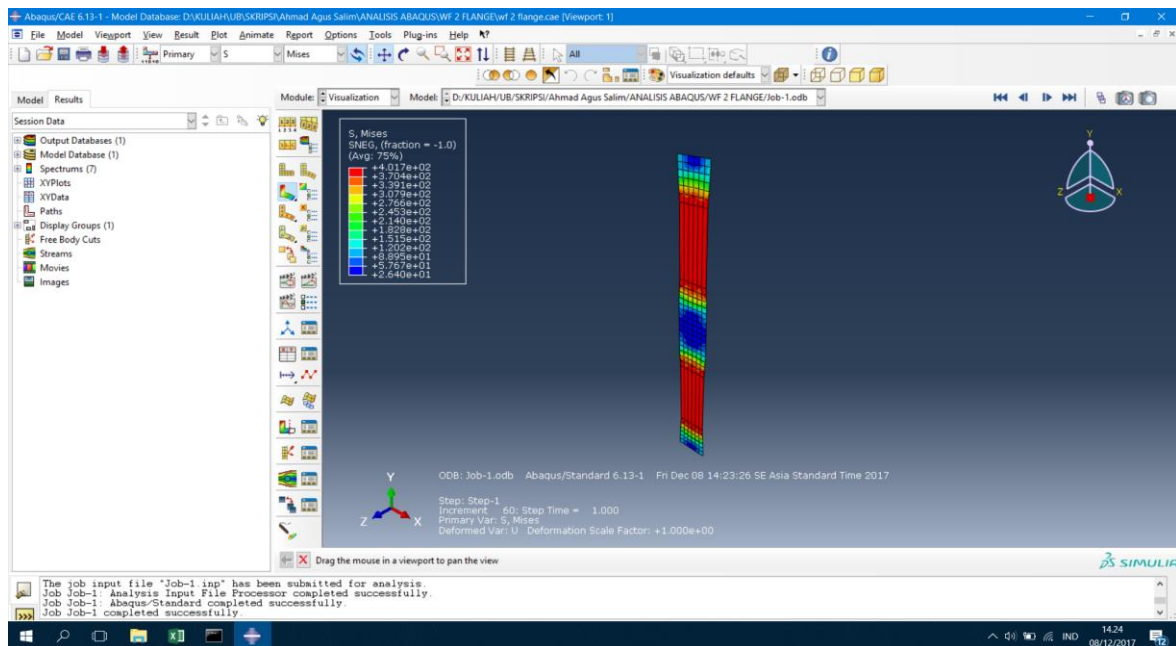


Gambar 4.35 Distribusi Tegangan-Regangan pada Plat 1 Web



Gambar 4.36 Distribusi Tegangan-Regangan pada Siku 1 Flens





Gambar 4.37 Distribusi Tegangan-Regangan pada WF 2 Flens

Spesimen uji yang digunakan sesuai standar ASTM dalam analisis abaqus dianggap sebagai elemen yang panjang, hal ini ditunjukkan pada kelima gambar di atas bahwa bagian yang mengalami tegangan dan regangan tertinggi berada dekat dengan tumpuan bukan terjadi pada tengah bentang.

Gambar di atas menunjukkan distribusi tegangan-regangan baja yang terjadi akibat uji tarik. Dari kelima gambar tersebut menunjukkan hasil yang seragam bahwa tegangan-regangan terbesar terjadi pada  $\pm \frac{1}{4}$  bentang. Kondisi ini menunjukkan kondisi yang sama dengan hasil uji tarik menggunakan UTM yang menyebabkan rata-rata spesimen uji mengalami putus pada  $\pm \frac{1}{4}$  bentang.



## BAB V KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan diagram tegangan-regangan hasil pengujian tarik spesimen uji baja untuk beberapa jenis profil sebagai berikut:

1. Grafik tegangan-regangan untuk beberapa jenis profil baja yang diuji tidak berbeda jauh dengan grafik tegangan-regangan baja teoritis.
2. Diagram tegangan-regangan baja mencakup daerah elastis, daerah leleh, daerah *strain hardening*, bagian beban puncak, daerah *necking*, dan titik putus.
3. Beberapa yang terlihat berbeda terletak pada daerah leleh. Sebagian profil baja dengan fase leleh yang cepat, dan sebagian lagi mengalami fase leleh cukup lama. Hal ini dipengaruhi oleh mutu baja, dimana mutu baja semakin tinggi memiliki sifat lebih getas sehingga fase leleh hanya terjadi sebentar saja. Dalam kasus ini dapat dikatakan bahwa setiap profil baja memiliki karakteristik diagram tegangan-regangan masing-masing.<sup>1</sup>

Dari hasil uji eksperimental dengan *strain gauge* dan analisis menggunakan *software ABAQUS* didapatkan beberapa hasil sebagai berikut:

1. Perbedaan yang cukup terlihat pada grafik tegangan-regangan, dimana hasil secara numerik memiliki grafik yang cukup kasar. Hal ini dikarenakan *input data true strain* dan *true stress* hanya 3 bagian saja yaitu awal leleh, akhir leleh, dan tegangan puncak.
2. Tegangan puncak dan regangan total yang hampir serupa, dengan catatan bahwa eksperimental dilakukan dengan baik.
3. Beberapa spesimen uji yang memiliki perbedaan yang besar antara eksperimental dan numerik disebabkan karena pada pelaksanaan pengujian secara eksperimental terjadi beberapa kesalahan, seperti *strain gauge* yang lepas sebelum beban puncak, perbedaan letak analisis di ABAQUS dengan pengambilan tegangan maksimum pada daerah  $\pm \frac{1}{4}$  bentang namun pada eksperimental *strain gauge* terletak di tengah bentang, dan lain sebagainya.

---

<sup>1</sup> Diagram tegangan-regangan hasil UTM terlampir

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat dilihat beberapa kelebihan dan kekurangan pada pengujian eksperimental dan analisis numerik sebagai berikut:

1. Pengujian secara eksperimental lebih tepat untuk mengetahui karakteristik spesimen uji karena pengujian langsung dilakukan pada keadaan sebenarnya spesimen uji, sehingga hasil pada spesimen uji yang baik ataupun dengan beberapa cacat akan terlihat dengan jelas perbedaannya. Namun, banyak faktor kesalahan yang bisa terjadi pada pengujian eksperimental, seperti *strain gauge* tidak terpasang dengan baik, kesalahan pembacaan, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, pada pengujian ini harus dilakukan dengan sangat baik dan benar untuk mendapatkan hasil yang tepat.
2. Pengujian secara numerik akan menghasilkan data yang tepat karena faktor kesalahan dapat diminimalkan, namun tidak dapat mewakili secara pasti untuk keadaan spesimen uji sebenarnya karena semua elemen pada analisis ini dianggap dalam keadaan baik tanpa cacat sedikitpun.

Pada dimensi spesimen uji yang digunakan dalam penelitian ini dianggap sebagai elemen yang panjang dalam ABAQUS, dapat dilihat bahwa tahanan-regangan maksimum terjadi cukup dekat dengan tumpuan, bukan terjadi pada tengah bentang.<sup>2</sup> Hal ini sesuai dengan kondisi sebenarnya dimana rata-rata spesimen uji mengalami putus pada daerah  $\pm \frac{1}{4}$  bentang.

## 5.2 Saran

Saran yang bisa diberikan sebagai berikut:

1. Penggunaan profil baja yang baru sebagai spesimen uji akan lebih efektif karena belum terpengaruh oleh korosi, beban luar, dan lain sebagainya sehingga spesimen masih sesuai dengan standar mutu yang ada.
2. Pemasangan *strain gauge* sangat berpengaruh dengan data tegangan-regangan yang dihasilkan, sehingga harus dilakukan dengan baik dan benar agar kesalahan pada pembacaan dapat diminimalkan.
3. Ketepatan pada pemasangan *strain gauge* yang sama di bagian spesimen uji dengan bagian yang akan dianalisis pada ABAQUS sangat diperlukan agar hasil pada ABAQUS mendekati kondisi sebenarnya.

---

<sup>2</sup> Distribusi tegangan-regangan terlampir

4. Pengambilan nilai *Poisson's Ratio* untuk spesimen uji perlu dilakukan agar mutu dan karakteristik spesimen uji lebih diketahui.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abaqus Analysis User's Manual 6.9. Dassault Systems Simulia Corp., Providence. RI. USA
- ASTM E8/E8M – 09. 2009. “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”.
- D Cook, Robert. 1990. *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. Terjemahan Ir. Bambang Suryoatmono. Bandung: PT ERESKO.
- Gere, J.M., Timoshenko. 1997. *Mekanika Bahan – Terjemahan Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Marciniak, Z., et al. 2002. “Mechanics of Sheet Metal Forming”, Butterworth-Heinemann, London.
- Mondelson. 1983. *Plasticity: Theory and Application*. Publishing Companies, Florida
- Rao, P.N. 1987. *Manufacturing Technology: Foundry, Forming and Welding*. McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi
- Singer, F.L., dan Andre Pytel. 1995. *Ilmu Kekuatan Bahan ( Teori Kokoh - Strength of Material )*. Alih Bahasa Darwin Sebayang, edisi II. Jakarta: Erlangga.
- Timoshenko, S dan Goodier J.N. 1986. *Teori Elastisitas*. Jakarta: Erlangga.

